



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

# PRŮZKUM A HODNOCENÍ VÍCEPODLAŽNÍHO OBJEKTU PŘED NADSTAVBOU

THE SURVEY AND ASSESSMENT MULTI-STOREY BUILDING BEFORE THE EXTENSION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. VLADIMÍR SMRČKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Vladimír Smrčka
<b>Název</b>	Průzkum a hodnocení vícepodlažního objektu před nadstavbou
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Petr Cikrle, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2011
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	13. 1. 2012
V Brně dne 31. 3. 2011	

.....  
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi aplikace principů prezentovaných normou ČSN ISO 13 822 při hodnocení vícepodlažní konstrukce před nadstavbou a podává přehled metod relevantních pro takový průzkum. Dále se zabývá možnostmi statistického vyhodnocení získaných souborů dat. Obsahuje také příklad předběžného a podrobného hodnocení vícepodlažního objektu před nadstavbou včetně analýzy a ověření části konstrukce.

## **Klíčová slova**

Metodika ISO, Hodnocení konstrukce, Statistické vyhodnocení

## **Abstract**

This master's thesis is concerned with the options of the application the principles presented in standard ČSN ISO 13 822 in the assessment of multi-storey construction before the extension and provides an overview of methods relevant for such a survey. Discusses options for statistical evaluation of the obtained data file. Also contains an example of a preliminary and a detailed assessment of the multi-storey building before the extension, including analysis and verification of the part of the construction.

## **Keywords**

the methodology of ISO, assessment of construction, statistical evaluation

## Bibliografická citace

SMRČKA, Vladimír. *Průzkum a hodnocení vícepodlažního objektu před nadstavbou*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Cikrle, Ph.D..



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D. za ochotnou pomoc s výběrem tématu, poskytnutí cenných rad, nápadů a připomínek v průběhu tvorby této práce a v neposlední řadě za trpělivost při konzultacích.

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
1.1 Význam práce .....	10
1.2 Současný stav problému .....	10
1.3. Cíle práce .....	11
1.4. Metodika .....	11
<b>2. Teoretická část .....</b>	<b>12</b>
2.1. Postup hodnocení .....	12
2.2 Stanovení účelu hodnocení .....	13
2.3 Scénáře .....	13
2.4 Předběžné hodnocení .....	14
2.4.1 Studium dokumentace a dalších údajů.....	14
2.4.2 Předběžná prohlídka.....	14
2.4.3 Předběžné ověření .....	16
2.5. Podrobné hodnocení.....	16
2.5.1. Podrobné vyhledání a ověření dokumentace .....	16
2.5.2 Podrobná prohlídka a zkoušky materiálů.....	17
2.5.3 Stanovení zatížení .....	17
2.5.4 Stanovení vlastností konstrukcí .....	19
2.5.5 Pevnost betonu .....	19
2.5.6 Určení pevnosti betonu v tlaku na vývrtech – odběr vzorků .....	20
2.5.7 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku na vývrtech.....	21
2.5.8 Vyhodnocení jádrových vývrtů podle ČSN ISO 13 822 .....	21
2.5.9 Zjištění pevnosti betonu pomocí tvrdoměrných metod .....	22
2.5.10 Zjištění pevnosti betonu v tlaku pomocí ultrazvuku.....	24
2.5.11 Stejnorodost betonu .....	25
2.5.12 Modul pružnosti betonu .....	26
2.5.13 Další vlastnosti betonu.....	26
2.5.14 Vlastnosti výztuže .....	26
2.6 Zatěžovací zkoušky.....	27
2.6.1 Důvody pro provedení zatěžovací zkoušky .....	27
2.6.2 Cíle zatěžovacích zkoušek .....	27

## Obsah

2.6.3 Podmínky pro provedení zatěžovací zkoušky.....	28
2.6.4 Průběh zatěžovací zkoušky .....	28
2.7 Analýza konstrukce.....	29
2.7.1 Modelové nejistoty.....	29
2.8 Ověřování.....	29
2.8.1 Časově závislá spolehlivost .....	30
2.8.2 Časově závislé zatížení .....	30
2.8.3 Užitečné metody uvedené v ISO 2394.....	31
2.8.4 Přímá aktualizace náhodné veličiny.....	33
2.8.5 Metoda dílčích součinitelů.....	35
2.9 Srovnání uvedených metod a obecná doporučení.....	36
2.10 Vývojový diagram .....	40
2.11 Doporučená struktura zprávy podle ČSN ISO 13 822.....	41
2.12 Dílčí závěr teoretické části.....	42
<b>3 Praktická část .....</b>	<b>43</b>
3.1 Titulní strana .....	43
3.2 Jméno inženýra, firmy .....	44
3.3 Souhrn .....	44
3.4 Obsah .....	44
3.5 Rozsah hodnocení .....	45
3.6 Popis konstrukce .....	45
3.7 Vyšetřování.....	46
3.7.1 Zkoumané dokumenty .....	46
3.7.2 Počet prohlídek .....	46
3.7.3 Postupy odběru zkušebních vzorků a postupy zkoušek.....	46
3.7.4 Předběžná prohlídka a fotodokumentace .....	47
3.8 Analýza .....	53
3.9 Ověření.....	53
3.10 Analýza údajů .....	54
3.11 Posouzení možných variant opatření .....	54
3.12 Závěry a doporučení .....	55
3.12.1 Závěry .....	55
3.12.2 Doporučení.....	55
3.13 Podrobné hodnocení.....	56

## Obsah

3.13.1 Rozsah hodnocení .....	56
3.13.2 Postupy odběru zkušebních vzorků a postupy zkoušek .....	57
3.13.3 Fotodokumentace odebraných vzorků .....	58
3.13.4 Zjištění objemové hmotnosti .....	62
3.13.5 Rychlost průchodu ultrazvuku .....	63
3.13.6 Křehelná pevnost betonu .....	64
3.13.7 Ověření výztuže .....	67
3.13.8 Rozkrytí poruchy P6 .....	68
3.14 Analýza konstrukce .....	70
3.14.1 Určení zatížení .....	71
3.14.2 Statický model .....	71
3.14.3 Vnitřní síly .....	72
3.14.4 Kombinace vnitřních sil .....	73
3.14.5 Únosnost centrálního sloupu .....	74
3.14.6 Návrh opatření, první varianta .....	76
3.14.7 Únosnost obetonování ve směru osy y .....	77
3.14.8 Podmínky únosnosti ve směru osy y .....	78
3.14.6 Návrh opatření, druhá varianta .....	78
3.14.7 Únosnost ocelové objímky ve směru osy y .....	79
3.15 Ověření .....	81
3.16 Analýza údajů .....	81
3.17 Posouzení možných variant opatření .....	82
3.18 Závěry a doporučení .....	82
3.18.1 Závěry .....	82
3.18.2 Doporučení .....	84
3.19 Dokumentace průběhu rekonstrukce .....	84
<b>4 Závěr .....</b>	<b>88</b>
<b>5 Seznamy .....</b>	<b>89</b>
5.1 Seznam použitých zdrojů .....	89
5.2 Seznam použitých zkratk a symbolů .....	90
5.3 Seznam tabulek, grafů, ilustrací a fotografií .....	91
5.3.1 Seznam tabulek .....	91
5.3.2 Seznam grafů .....	91
5.3.3 Seznam ilustrací a fotografií .....	92

# 1. Úvod

## 1.1 Význam práce

Hlavní význam této diplomové práce spočívá v rozkrytí zejména statistických metod zmíněných v normě ČSN ISO 13 822, jejich analýze a posouzení vhodnosti použití v diagnostické praxi.

Tato práce dále uvádí praktický příklad hodnocení železobetonové konstrukce z 50. let 20. století. Zjištění získaná při tomto hodnocení mohou napomoci při návrzích hodnocení podobných konstrukcí.

## 1.2 Současný stav problému

Při hledání směrodatného dokumentu pro posuzování stávajících konstrukcí máme na výběr z několika možností. Můžeme konstrukci posoudit například na požadavky návrhových norem ČSN EN 1990 až 1998 tyto normy jsou však určeny primárně pro navrhování nových konstrukcí a nezohledňují proto žádné ze specifických problému, které se vztahují ke stávajícím konstrukcím. Dále můžeme použít normu ČSN EN 13 791, která je však určena spíše pro kontrolu kvality stavebních výrobků a vychází tak z normy ČSN EN 206.

Nejlepší volbou se proto stává norma ČSN ISO 13 822\*, která je určena pro posuzování stávajících konstrukcí. Chceme-li se však striktně řídit jejími pokyny narazíme na řadu problémů plynoucích, jak z nového přístupu k hodnocení a tedy mimo jiné nové terminologie, tak z příliš obecně formulovaných a tedy nekonkrétních požadavků této normy.

---

\* Dále bude označována zkráceně „ISO“.

### **1.3. Cíle práce**

Cílem této práce je podání možných východisek při hodnocení stávajících konstrukcí podle normy ČSN ISO 13 822, zejména při použití jejích méně jasných článků.

Dále také provedení analýzy metod statistického vyhodnocení obsažených v této normě a posouzení jejich vhodnosti v typických diagnostických situacích.

Praktická část má za cíl návrh a provedení předběžného a podrobného průzkumu reálné konstrukce podle metodiky normy ISO včetně analýzy části konstrukce ve smyslu této normy.

### **1.4. Metodika**

Metoda práce bude spočívat v systematickém projití článků ISO normy, jejichž pořadí je často shodné s chronologickým postupem hodnocení. V případě nejasností bude podáno vysvětlení a doplnění informací ze zdrojů ratifikovaných odbornou veřejností.

V další části bude využito zejména statistických simulací podle teorie spolehlivosti a metod uvedených v ISO normě tak, aby bylo možné srovnávat jejich efektivnost a přesnost při praktických diagnostických úlohách.

Metodika provedení hodnocení bude mít své základy opět ukotveny v normě ISO. Využito bude ovšem také poznatků z teoretické části této práce, dalších vhodných norem a obecných doporučení.

## 2. Teoretická část

### 2.1. *Postup hodnocení*

V odstavci 4.2 ISO normy je v bodech uveden doporučený postup při hodnocení stávajících konstrukcí. Jedná se o:

- a) Stanovení účelu hodnocení.*
- b) Scénáře.*
- c) Předběžné hodnocení:*
  - 1) studium dokumentace a dalších údajů;*
  - 2) předběžná prohlídka;*
  - 3) předběžné ověření;*
  - 4) rozhodnutí o okamžitých opatřeních;*
  - 5) doporučení pro podrobné hodnocení;*
- d) Podrobné hodnocení:*
  - 1) Podrobné vyhledání a prověření dokumentace;*
  - 2) podrobná prohlídka a zkoušky materiálů;*
  - 3) stanovení zatížení;*
  - 4) stanovení vlastností konstrukce;*
  - 5) analýza konstrukce;*
  - 6) ověření*
- e) Výsledky hodnocení:*
  - 1) zpráva;*
  - 2) koncepční návrh konstrukčních opatření;*
  - 3) řízení rizik;*
- f) V případě potřeby se postup opakuje [5]*

V některých případech není třeba použít celý postup, v jiných je zase nutné některé části opakovat viz. Vývojový diagram (str.40).

V dalším textu bude tato struktura využita a k jednotlivým bodům bude připojen komentář.



## 2.2 Stanovení účelu hodnocení

Při stanovení účelu hodnocení vycházíme z konzultace s objednatelem. Takto stanovený účel hodnocení je základním podkladem při úvaze o obsahu a rozsahu hodnocení. Jako příklad můžeme uvést několik typických účelů hodnocení:

- Stanovení bezpečnosti konstrukce při případné přestavbě, nástavbě apod.
- Ověření vlastností konstrukce při změně majitele.
- Doporučení pro zachování konstrukce a její renovaci v opačném případě pro demolici v případě výskytu poruch na konstrukci.
- Potřeba ověření konstrukce dotčené okolní výstavbou například zastavením proluk nebo blízkou podzemní výstavbou.
- Hodnocení nařízené stavebním úřadem (u významných staveb například mostů)
- Hodnocení konstrukce ovlivněné jinými vlivy například havárií kanalizace, záplavami atd. [5]

Správně provedené hodnocení konstrukce vede často k jejímu zachování a rekonstrukci, a tedy k výrazným ekonomickým a ekologickým úsporám, bez rizika poruchy konstrukce.

## 2.3 Scénáře

*Aby se identifikovali možné kritické situace, určí se v plánu bezpečnostních opatření scénáře související se změnou konstrukčních podmínek nebo zatížení konstrukce. Každý scénář je charakterizován rozhodujícím procesem nebo zatížením, a případně jedním nebo více vedlejšími procesy nebo zatíženími. Identifikace scénářů je základem pro hodnocení a návrh opatření, kterými se zajistí bezpečnost a použitelnost konstrukce. [5]*

Při vytváření scénářů možného porušení konstrukce napomůže zodpovězení následujících otázek:

- Jak se změní zatížení konstrukce po případné rekonstrukci a v jejím průběhu?
- Které prvky jsou nejvíce namáhány v současné době a u kterých předpokládáme v budoucnosti přetížení?

- Jaký bude mechanismus porušení těchto prvků?
- Které části konstrukce je tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost?
- Jaké typické problémy a poruchy mohou vzniknout v souvislosti s daným typem konstrukce, jejím stářím, prostředím a údržbou?

## **2.4 Předběžné hodnocení**

### **2.4.1 Studium dokumentace a dalších údajů**

Studiem projektové dokumentace objektu zvýšíme přesnost hodnocení konstrukce díky předběžnému odhadnutí kritických míst konstrukce, zjištění předpokládané kvality materiálů, polohy výztuže, původní dispozice a dalších poznatků. Díky tomuto studiu se také můžeme soustředit na specifické problémy konstrukce nebo případné předchozí přestavby.

Projektová dokumentace je ovšem zejména u starších konstrukcí neúplná, těžce dohledatelná nebo neexistuje.

Některé důležité informace jsou součástí úředních záznamů o objektech a jsou k nalezení v příslušných archivech. Poněkud netradičním zdrojem užitečných, avšak neověřených informací mohou být také místní pamětníci.

### **2.4.2 Předběžná prohlídka**

*Účelem předběžné prohlídky je identifikace konstrukčního systému a možného poškození konstrukce pomocí vizuální prohlídky a jednoduchých nástrojů. Shromážděné informace se vztahují například k vlastnostem povrchu k viditelným deformacím, k trhlinám, odprýskávání, ke korozi. Výsledky předběžné prohlídky se vyjadřují kvalitativním zatříděním stavu konstrukce podle jejího možného poškození (např. žádné, menší, mírné, závažné destrukční, neznámé). [5]*

Pokud se nám podařilo získat představu o konstrukčním uspořádání budovy z dostatečně ucelené, získané projektové dokumentace můžeme přistoupit k předběžné prohlídce, v opačném případě je vhodné provést současně s předběžnou prohlídkou pasportizaci, tedy zevrubné zaměření dispozice budovy. Při předběžné prohlídce zjišťujeme zejména zřejmý postup degradace, rozvoj viditelných trhlin, výskyt geometrických odchylek a případné známky pronikání vlhkosti do konstrukce. Všechny nalezené závady je třeba zdokumentovat,

například na fotografii s přítomností měřítka. Polohu trhlin na konstrukci, jejich směr a křížení je vhodné vyznačit do náčrtu. Z polohy, orientace a velikosti trhlin odhadujeme pravděpodobnou příčinu jejich vzniku a vliv na bezpečnost a jakost konstrukce.

Pomůcky vhodné k předběžné prohlídce jsou:

- baterka, bodový reflektor
- kladívko
- škrabka
- čtecí lupa, trhlino měrka, metr
- fotoaparát se stativem
- diktafon, papír, podložka, pero
- akustické trasovadlo
- jakékoliv další vhodné jednoduché nástroje

Po provedení předběžné prohlídky vzniká subjektivní, verbální hodnocení konstrukce. Pro zřehlednění závěru lze využít například tuto tabulku:

Tabulka 1. Verbální hodnocení konstrukce, zdroj: [1]

Kvalitativní hodnotící stupně		Popis
1	Běžné opotřebení	Dobrá bezpečnost, dobrá jakost
2	Závaďa	Dobrá bezpečnost, zhoršená jakost
3	Nevýznamná porucha	Podstatnější snížení jakosti, mírné zhoršení bezpečnosti
4	Významná porucha	Podstatnější snížení jakosti i bezpečnosti, není bezprostřední ohrožení
5	Havarijní porucha	Bezpečnost je vážně bezprostředně ohrožena stejně jako jakost

Pokud jsou naše údaje stále nedostatečné můžeme stav konstrukce specifikovat jako **neznámé poškození**.

### 2.4.3 Předběžné ověření

Jedná se o vyhodnocení údajů ze studia dostupné dokumentace a předběžné prohlídky s přihlédnutím k účelu hodnocení.

Závěry předběžného hodnocení se mohou odebírat v zásadě třemi směry:

- Konstrukce je v uspokojivém stavu, není třeba podrobné hodnocení
- Konstrukce je v havarijním stavu, je třeba její zajištění, není třeba podrobné hodnocení
- Existuje nejistota o stavu konstrukce, je třeba podrobné hodnocení.

Součástí závěru z předběžného hodnocení musí být jeho zdůvodnění, doporučení pro podrobné hodnocení a pro případné zásahy do konstrukce.

## 2.5. Podrobné hodnocení

### 2.5.1. Podrobné vyhledání a ověření dokumentace

ISO norma doporučuje detailně přezkoumat dostupnou dokumentaci jako například:

- 1) *Výkresy, technické požadavky, statický výpočet, stavební deník, záznamy o prohlídkách a údržbě, podrobnosti o změnách.*
- 2) *Předpisy a normy, které byly použity pro výstavbu konstrukce*
- 3) *Topografii, základové podmínky, úroveň hladiny podzemní vody v místě stavby. [5]*

U stávajících konstrukcí se často stává, že potřebné dokumenty jsou velmi těžce dohledatelné a také neaktuální, proto je dobré si předem stanovit, kolik času je adekvátní této činnosti věnovat. Pokud ovšem neexistují žádné pochybnosti o hodnotách uvedených v těchto dokumentech, můžeme tyto hodnoty použít pro přepočet konstrukce. Tak ukončit proces zjišťování informací a přesunout se ke stanovení zatížení a analýze konstrukce .

Velké množství poruch na konstrukci vzniká vlivem nesprávného založení, které se projevuje nerovnoměrným sedáním základů, ověření základových podmínek a úrovně hladiny podzemní vody, proto je nesmíme v žádném případě podcenit. Mějme na paměti, že úroveň hladiny podzemní vody se může v průběhu životnosti konstrukce měnit a tím zásadně ovlivňovat jak únosnost základové spáry, tak rychlost degradace části konstrukce vystavené působení

podzemní vody. Dalšími nežádoucími jevy, ke kterým může docházet je odnášení jemnozrnného materiálu z podloží (sufoze), prosedavost u spraší nebo bobtnání a sesychání jílu.

### 2.5.2 Podrobná prohlídka a zkoušky materiálů

Slouží pro získání dostatečného množství informací, sloužících pro:

- **Stanovení zatížení**
- **Stanovení vlastností konstrukcí**

### 2.5.3 Stanovení zatížení

Pokud je k dispozici původní dokumentace a není pochybnost o její platnosti lze převzít zatížení z této dokumentace. [5]

*Pokud není k dispozici původní dokumentace anebo nelze z původní dokumentace spolehlivě určit druh uspořádání a velikost působících zatížení, zjišťují se tato zatížení šetřením na místě.*

*Působící zatížení se zjišťují šetřením na místě pokud*

- *je oprávněné podezření, že na konstrukci působí jiné druhy zatížení, než se původně předpokládalo;*
- *se v průběhu používání konstrukce hodnoty zatížení nepříznivě změnily;*
- *se vyskytují v konstrukci poruchy, za jejichž příčinu se považují odchylky zatížení, co do očekávaných druhů a hodnot. [5]*

Proměnná zatížení sněhem, větrem, užitná atd. můžeme určit dle ČSN EN 1990 a příslušných částí ČSN EN 1991 pro zatížení konstrukcí. Ve výjimečných případech lze přistoupit k dlouhodobému sledování klimatických jevů působících na konstrukci a vyhodnocení jejich účinků buď samostatně nebo lépe ve spolupráci s hydrometeorologickým úřadem. Podrobnější návod pro tento postup lze najít například v Příručce pro hodnocení existujících konstrukcí [6].

Hodnotu stálého zatížení můžeme určit ze skutečných rozměrů konstrukce a skutečné objemové hmotnosti (tíhy) naměřené na odebraných vzorcích. Vzorky odebíráme dle pravidel pro odběr vzorků uvedených dále. Zjištění objemové hmotnosti pravidelných vzorků provedeme jejich proměřením a zvážením nebo lépe hydrostatickým vážením, kterým určíme objemovou hmotnost i pro nepravidelné vzorky.

Minimální doporučený počet vzorků je 5. Výsledky se dále statisticky zpracovávají:

$$a) m_g = \sum \frac{g_i}{n}$$

$$b) s_g^2 = \sum \frac{(g_i - m_g)^2}{(n-1)}$$

$$c) G_k = m_g \pm k_n s_g$$

$m_g$  ... průměrná objemová tíha

$g_i$  ... jednotlivé naměřené objemové tíhy

$n$  ... počet vzorků

$s_g^2$  ... rozptyl

$G_k$  ... charakteristická objemová tíha betonu

$s_g = \sqrt{s_g^2}$  směrodatná odchylka (výběrová)

$k_n$  ... součinitel závislý na počtu odebraných vzorků

Ve vzorci c) použijeme znaménko + pro nepříznivé stálé zatížení a znaménko – pro příznivé stálé zatížení. [5]

Součinitel  $k_n$  určíme z následující tabulky:

Tabulka 2. Hodnoty součinitele  $k_n$  pro zatížení, zdroj: [5]

Počet vzorků n	Součinitel $K_n$	Počet vzorků n	Součinitel $K_n$
5	0,69	15	0,35
6	0,60	20	0,30
7	0,54	25	0,26
8	0,50	30	0,24
9	0,47	40	0,21
12	0,39	>50	0,18

Pro mezilehlé hodnoty je možné interpolovat.

#### 2.5.4 Stanovení vlastností konstrukcí

Dalším krokem po stanovení skutečného zatížení je zjištění vlastností konstrukce.

Při určování vlastností betonu se soustředíme především na:

- **pevnost betonu**
- stejnorodost betonu
- modul pružnosti betonu
- objemová hmotnost
- mrazuvzdornost, vodotěsnost
- vlhkost betonu
- chemické vlastnosti betonu
- vlastnosti povrchových vrstev betonu

Dále je třeba zkontrolovat vlastnosti výztuže jako:

- množství a uložení výztuže, krytí výztuže
- korozi výztuže

Zatěžovacími nebo jinými zkouškami můžeme získat vlastnosti celé konstrukce:

- únosnost a ohybová tuhost při statickém zatížení
- tuhost bet. vozovek při rázové zatěžovací zkoušce
- provozně-funkční vlastnosti jako vodotěsnost, mrazuvzdornost
- přítomnost a rozsah viditelných a skrytých vad a poruch. [1]

#### 2.5.5 Pevnost betonu

Pevnost betonu v tlaku vyjadřuje schopnost materiálu odolávat vnějšímu zatížení. Zjišťuje se na normovaných tělesech (krychle nebo válec) zatěžováním v lisu až do meze porušení. Pevnost je pak nejvyšší dosažené napětí při zatěžování tělesa. Zkouší se větší soubor těles, který se posléze statisticky vyhodnocuje. Norma ISO připouští několik metod statistického vyhodnocení jedná se o metodu dílčích součinitelů, metodu přímé aktualizace veličin a plně pravděpodobnostní metodu. Tyto metody budou vysvětleny a porovnány dále.

Charakteristická pevnost betonu v tlaku je základním vstupem do statického výpočtu. Při hodnocení stávající konstrukce je nutné zjistit aktualizovanou hodnotu pevnosti betonu v tlaku. [7]

### 2.5.6 Určení pevnosti betonu v tlaku na vývrtech – odběr vzorků

Základním postupem pro určení pevnosti betonu v tlaku je její zjištění na jádrových vývrtech.

Prvním krokem je odběr vývrtů na samotné konstrukci.

Počet vývrtů závisí na velikosti a členitosti konstrukce a také na tom, zda-li chceme vzorky pro kalibraci a upřesnění NDT metod nebo budeme pevnost celé konstrukce vyhodnocovat výhradně podle těchto vývrtů. Délka vývrtu závisí na jeho průměru, předpokládaném tvaru zkušebního tělesa, rozměrech prvku a konkrétních podmínkách při provádění vývrtu. Označení a identifikace probíhá ihned po ukončení vrtání, kdy se na vývrt označuje typ vrtaného prvku, umístění a orientace vrtu. Označení můžeme provést pomocí smluvních značek nesmazatelným fixem.

Vzorky odebíráme tak, abychom nepoškodili výztuž. Je vhodné si její polohu před vývrtem ověřit pomocí magnetického indikátoru a zakreslit na prvek. Vybíráme si místa méně staticky významná, vyhýbáme se rohům a pracovním spárám.

Pokud je velikost maximálních zrn kameniva (nikoliv horní mez frakce kameniva) větší než přibližně  $1/3$  průměru vývrtu, má to značný vliv na zjištěnou pevnost. Základní těleso má průměr 150 mm, v praxi se většinou odebírají vývrty o průměru 100 mm. Norma ČSN EN 12504-1 však připouští možnost použití jádrových vývrtů o průměrech 50 mm a dokonce pouze 25 mm, což však nelze obecně doporučit. [7]

Poměry délky k průměru jsou přednostně:

- 2,0, jestliže se má pevnost porovnávat s válcovou pevností;
- 1,0, jestliže se má pevnost porovnávat s krychelnou pevností. [2]

V dosud platných starších předpisech je přípustný poměr délky k průměru v rozmezí 1,0 až 2,0, přičemž pro přepočítání na válcovou pevnost se používá koeficient štíhlosti. [3]

Vývrty s trhlinami, dutinami a nepevnými okraji se nezkouší. Je zakázáno zkoušet vývrty obsahující výztuž ve směru podélné osy nebo v její blízkosti. Pokud jde o výztuž kolmo k podélné ose, vývrty se sice zkoušet mohou, ale opět to nelze obecně doporučit. [1]



### 2.5.7 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku na vývrtech

Na získaných jádrových vývrtech je vhodné provést test karbonatace. Poté se vzorky upraví na zkušební tělesa. Dále se ověří rozměry zkušebních těles, zjistí se jejich hmotnost, hustota, případně rychlost prostupu ultrazvuku. Lze využít i jiné NDT metody. Poté zkušební tělesa upneme do hydraulického lisu a zatěžujeme až do meze porušení. [7]

### 2.5.8 Vyhodnocení jádrových vývrtů podle ČSN ISO 13 822

Charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku se stanoví v souladu s ČSN EN 1990, příloha D.

Nejdříve se určí aritmetický průměr souboru  $m_x$ :

$$d) \quad m_x = \sum \frac{X_i}{n}$$

Dále výběrový rozptyl  $s_x^2$  a výběrová směrodatná odchylka  $s_x$ :

$$e) \quad s_x^2 = \sum \frac{(x_i - m_x)^2}{(n - 1)}$$

$$f) \quad s_x = \sqrt{s_x^2}$$

Následně lze vypočítat variační koeficient  $V_x$ :

$$f) \quad V_x = \frac{s_x}{m_x}$$

Charakteristická hodnota se poté za předpokladu normálního rozdělení určí jako:

$$g) \quad X_k = m_x (1 - k_n V_x)$$

Tabulka součinitele  $k_n$  pro stanovení pětiprocentního kvantilu souboru, tedy charakteristické hodnoty pevnosti betonu v tlaku.

Tabulka 3. Hodnoty součinitele  $k_n$  pro vlastnosti konstrukce, zdroj: [5]

Počet n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_x$ neznámý	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Součinitel  $V_x$  můžeme považovat za známý na základě dlouhodobých zkušeností získaných za stejných podmínek. Tohoto lze dosáhnout při kontrole kvality výroby nebo pokud provádíme velice rozsáhlý průzkum konstrukce. Obvykle ale není rozsah průzkumu dostatečný a je tedy nutné považovat variační koeficient za neznámý a vypočítat ho podle vzorce f) . Bohužel nás to přivádí k vyšším hodnotám součinitele  $k_n$ .

Pokud předpokládáme lognormální rozdělení. Lze charakteristickou hodnotu určit ze vztahu: [7]

$$h) X_k = m_x \cdot e^{\left[ -k_n \sqrt{\ln(V_x^2 + 1)} - 0,5 \ln(V_x^2 + 1) \right]}$$

Příslušnost statistického souboru k danému rozdělení lze testovat. K tomu je ovšem nutné mít dostatečný počet vzorků. [5]

### 2.5.9 Zjištění pevnosti betonu pomocí tvrdoměrných metod

V úvahu zde připadají především tvrdoměry typu SCHMIDT.

Vzájemná korelace tvrdosti a pevnosti betonu je již bezpečně prokázána. Tvrdoměrnými měřeními je tedy možné získat dostatečně přesné výsledky. Výhodou je snadnost a rychlost provedení zkoušky. Lze tak otestovat velké množství zkušebních míst, a tím získat dostatečný statistický soubor pro vyhodnocení konstrukce. Je zde také šance odhalení lokálních poruch konstrukce.

Použití tvrdoměrných metod na starších konstrukcích má ale několik úskalí, s kterými je nutné počítat. Regresní křivky těchto přístrojů jsou vytvářené na nových betonech, což je pochopitelné. Závislost pevnosti a tvrdosti se ovšem liší, jak mezi novým a starým betonem, tak mezi několika starými betony navzájem. Při hodnocení stávající konstrukce je tedy vhodné vytvořit vlastní korelační vztahy pro každou specifickou konstrukci. Pro tento účel lze pou-

žit například ČSN EN 13 791. Pro účely vytvoření nových korelačních vztahů je ovšem nutné provést alespoň 18 srovnávacích jádrových vývrtů. Otázkou je, zda-li pak není výhodnější určit pevnost betonu přímo z těchto vývrtů. Pokud beton není zkarbonatovaný, nejedná se o propařovaný beton, kvalita a stejnorodost betonu je dostatečná můžeme použít metodu upřesnění stávající normové křivky podle ČSN EN 13 791, potom nám stačí v obvyklých případech devět srovnávacích vývrtů. V takovém případě je ovšem výhodnější starší postup podle ČSN 73 2011 založený na stanovení součinitele upřesnění  $\alpha$  tento postup vyžaduje v obvyklých případech opět devět srovnávacích vývrtů.

Odrasové tvrdoměry zkoušejí tvrdost betonu pouze na povrchu. Ten může mít diametrálně rozdílné vlastnosti od vnitřku konstrukce. Například pokud bude povrchová vrstva zkarbonatovaná bude paradoxně vykazovat vyšší tvrdosti a pevnosti než vnitřek konstrukce a tím zkreslovat výsledky.

Velmi nekvalitní beton nelze tvrdoměrně zkoušet, protože nedochází k odrazu, ale k zaboření hlavy razníku a tím ke znehodnocení výsledků.

Pokud usoudíme, že konstrukce je v takovém stavu, že je možné provedení tvrdoměrných zkoušek musíme nejdříve navrhnout počet a umístění zkušebních míst. [7]

Vodítko nám může poskytnout například tato tabulka:

Tabulka 4. Počet zkušebních míst podle velikosti konstrukce, zdroj: [4]

Objem betonu konstrukce v m <sup>3</sup>	Minimální počet zkušebních míst n při předpokládané velikosti záměsi betonové směsi v m <sup>3</sup>					
	0,06	0,30	0,60	1,00	3,00	6,00
1	16	16	16	16	16	16
2	24	16	16	16	16	16
5	39	16	16	16	16	16
10	52	24	16	16	16	16
20	64	35	24	16	16	16
50	72	52	39	31	16	16
100	72	64	52	44	24	16
200	72	70	64	53	35	24
500	72	72	72	68	53	39
700	72	72	72	71	58	45
1000	72	72	72	72	64	52
2000	72	72	72	72	70	64
4000 a ví-	72	72	72	72	72	70

Každé zkušební místo je třeba nejdříve zbavit omítky a zabrousit do roviny. Poté můžeme provést a zaznamenat samotné měření. Pro úspěšné měření je nutné provést alespoň 9 platných odrazů. Ve skutečnosti je proto lepší provést na každém místě odrazů více pro případ, že bude nutné některé vyřadit. Pro vyhodnocení výsledků můžeme použít ČSN EN 13 791 a navazující ČSN EN 12 504-2 nebo starší ČSN 73 2011 a navazující 73 1373. Osobně doporučuji použít spíše postup uvedený ve starší normě, protože postup podle eurocode může u starších konstrukcí vést k nadhodnocení pevnosti betonu v tlaku.

Tvrdoměrné metody jsou výborné především v kombinaci s jádrovými vývrtky u starších konstrukcí k nim však musíme přistupovat opatrně a s rozvahou. [7]

### 2.5.10 Zjištění pevnosti betonu v tlaku pomocí ultrazvuku

Stanovit pevnost betonu v tlaku v absolutní hodnotě pouze s pomocí ultrazvuku, je možné, ovšem regresní závislost mezi rychlostí prostupu ultrazvuku a pevností betonu v tlaku není tak průkazná, jako u předchozích tvrdoměrných metod. Při měření in-situ mohou vzniknout problémy s jeho technickým provedením, mimo jiné s vyrušením vlivů, které ovlivňují jeho přesnost. Ultrazvuková metoda je ovšem vynikající pro relativní porovnání kvality betonu na mnoha místech konstrukce a tedy vytipování problematických míst. S její pomocí lze odhalit skryté vady uvnitř konstrukce. Výhodami jsou také možnost získání dynamického modulu pružnosti betonu a rychlost měření. Postup pro provedení ultrazvukové impulzní metody lze nalézt například v ČSN EN 12 504-4, starší postup je uveden v ČSN 73 1371.

Pro orientační stanovení kvality betonu v konstrukci podle rychlosti ultrazvuku můžeme použít následující tabulku.

Tabulka 5. Kvalita betonu a rychlost šíření ultrazvuku, zdroj: [10]

Všeobecné hodnocení	Rychlost šíření ultrazvuku [m/s]
Vynikající	Nad 4500
Dobrý	3700 - 4500
Diskutabilní	3000 - 3700
Špatný	2100 - 3000
Mizerný	Nižší než 2100

### 2.5.11 Stejnorodost betonu

Konstrukce nebo její část je stejnorodá, pokud se variační koeficient  $V_x$  a rozdíl dvou sousedících hodnot  $\Delta$  nachází v rozmezí podle následující tabulky uvedené v normě ČSN 73 20 11.

Tabulka 6. Kritéria stejnorodosti, zdroj: [1]

Zkoušená vlastnost	Statistické hodnocení	Třída betonu			
		C8/10	C16/20	C25/30	C30/37 a lepší
Pevnost v tlaku	$V_x \%$	16	16	14	12
	$\Delta \%$	30	30	30	30
Pevnost v tahu	$V_x \%$	22	20	18	16
	$\Delta \%$	40	40	40	40
Rychlost šíření podélných UZ vln	$V_x \%$	4	4	3,5	3
	$\Delta \%$	7,5	7,5	7,5	7,5
Objemová hmotnost	$V_x \%$	2,5	2,5	2,5	2,5
	$\Delta \%$	4	4	4	4

Samotná norma ČSN 73 20 11 uvádí, že vyhodnocení stejnorodosti je pouze informativní. Musíme mít ovšem na paměti, že tabulka 5 je sestavená s ohledem na následné statistické vyhodnocení souboru hodnot. Rozhodneme-li se vyhodnotit soubor přestože je nestejnorodý musíme počítat s podstatným snížením odhadu pětiprocentního kvantitu (charakteristické hodnoty) vlivem této nestejnorodosti. Pokud tedy máme k dispozici soubor nestejnorodých hodnot je lépe ho rozdělit na několik stejnorodých podsouborů a ty vyhodnotit samostatně, pokud je to možné.

### **2.5.12 Modul pružnosti betonu**

Další z hodnot, které je nutné získat a zahrnout do výpočtů při analýze konstrukce je modul pružnosti betonu. Rozlišujeme statický a dynamický modul pružnosti. Statický získáme cyklickým zatěžováním jádrových vývrtů. Dynamický například ultrazvukovou impulzní metodou. Podklady pro tyto zkoušky najdeme v: ČSN EN 13 791 nebo ČSN 73 20 11 a navazujících normách. [7]

### **2.5.13 Další vlastnosti betonu**

Objemovou hmotnost lze zjistit podle postupu uvedeného dříve. Mrazuvzdornost, vodotěsnost, vlhkost betonu, chemické vlastnosti betonu nebo vlastnosti povrchových vrstev betonu, není třeba bezpodmínečně zjišťovat pro analýzu konstrukce. Ovlivňují ale trvanlivost a kvalitu betonu a mohou se stát významnými ve specifických případech například u betonů vystavených agresivnímu prostředí atd. Tyto vlastnosti určujeme podle příslušných norem v závislosti na požadavcích objednatele.

### **2.5.14 Vlastnosti výztuže**

Z vlastností výztuže je nutné zjistit zejména množství a uložení výztuže, krytí výztuže, korozi výztuže a shodu uložení výztuže s projektovou dokumentací.

Ověření výztuže je možné provést magnetickou indukční metodou. Jedná se o rychlé a (při krytí do 60 mm) přesné určení polohy, krytí a průměru použité výztuže. S rostoucí hloubkou klesá přesnost této metody a přestává docházet k rozlišení jednotlivých prutů, pokud jsou příliš blízko u sebe. Nevýhodu představuje také to, že nelze nalézt případnou druhou vrstvu výztuže. Metoda je také vhodná pro ověření výztuže před provedením jádrového vývrtu.

Další možností je vizuální ověření výztuže po odstranění krycí vrstvy. Takto snadno zjistíme polohu, průměr i korozi výztuže, jedná se ovšem o pracnější a méně čistou variantu. Získané informace srovnáváme s projektovou dokumentací.

Pokud je výztuž uložena ve větší hloubce, zároveň nelze provést odstranění krycí vrstvy, ale přesto je nutné určit polohu a průměry výztuže. Můžeme použít radiografické metody. [1]

## **2.6 Zatěžovací zkoušky**

Existuje několik druhů zatěžovacích zkoušek: Vodorovná zatěžovací zkouška, zkouška celé konstrukce vibrační metodou, svislá zatěžovací zkouška, zkouška prvků konstrukce vibrační metodou, vodorovné nebo svislé měření chvění konstrukce.

Zatěžovací zkoušky jsou drahé a náročné na čas. Před uskutečněním zatěžovací zkoušky je tedy vždy nutné zvážit, jestli jsou přínosy dostatečné. [5]

### **2.6.1 Důvody pro provedení zatěžovací zkoušky**

K zatěžovacím zkouškám přistupujeme pokud:

- Potřebujeme získat doplňující údaje o vlastnostech konstrukce, které nelze získat jiným způsobem, případně pokud provedení a užívání konstrukce nesouhlasí s projektovou dokumentací.
- Nelze provést přepočet konstrukce s dostatečnou přesností. Potřebujeme lépe porozumět chování samotné konstrukce.
- Nosné prvky konstrukce se nechovají podle našich předpokladů. [5]

### **2.6.2 Cíle zatěžovacích zkoušek**

Před provedením zatěžovací zkoušky si musíme přesně stanovit cíl, kterého chceme dosáhnout. Může jím být například:

- Odhad mezní únosnosti a stavu použitelnosti nosných prvků.
- Získání doplňujících informací o vlastnostech materiálu.
- Vyšetření chování konstrukce pod vlivem zatížení.
- Získání dalších hodnot nutných pro analýzu konstrukce.
- Prokázání způsobilosti konstrukce pro používání (tzv. kontrolní zatěžovací zkouška). [5]

### 2.6.3 Podmínky pro provedení zatěžovací zkoušky

V zájmu správného provedení zatěžovací zkoušky nesmíme zapomínat zejména na tyto předpoklady:

- Zkoušky musíme provádět opatrně a předejít zhroucení konstrukce
- Pro lepší přesnost uvážit spolupůsobení nosných prvků
- Zajistit možnost vizuální prohlídky zatěžované konstrukce před zkouškou, v jejím průběhu i po zkoušce.
- Uvážit vliv změny teploty na měřicí zařízení. [5]

### 2.6.4 Průběh zatěžovací zkoušky

Před samotným provedením zatěžovací zkoušky je třeba popsat její rozsah, stanovit si očekávané chování konstrukce, jako průhyby atd. Vypracovat plán zatěžování a měření. Zajistit si souhlas zainteresovaných osob (vlastník, úřad, pojišťovna atd.). Zajistit potřebné vybavení.

Samotné provedení zkoušky spočívá v postupném zatěžování konstrukce do prokázání stanovené únosnosti, případně získání požadovaných informací nebo dosažení stanovené mezní deformace. A následném odtížení při neustálém sledování měřených hodnot.

Po zkoušce je třeba vyhodnotit získané informace. Porovnat naměřené vlastnosti materiálů s výpočtním modelem, zjistit odchylky a vysvětlit je. Vyhodnotit zkoušku pomocí statistických metod. Přihlédnout k vlivu trvání zatížení. Pokud jsou údaje věrohodné extrapolovat je a využít při výpočtu. Vypracovat protokol o provedení zkoušky a přiložit ho ke zprávě z hodnocení konstrukce. [5]



## 2.7 Analýza konstrukce

Nejdříve je nutné zvolit vhodný výpočetní model, který bude vystihovat, jak zatížení, tak skutečnou odezvu konstrukce. Konstrukci poté v rámci ověřování posoudíme na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Použijeme základní veličiny s přihlédnutím k příslušnému modelu degradace.

Základními veličinami jsou: zatížení, vlastnosti materiálů a geotechnické podmínky, rozměry nosných prvků a základů, modelové nejistoty. [5]

### 2.7.1 Modelové nejistoty

Nejistoty mohou pramenit z: vlivu tvaru a velikosti zkušebních vzorků, účinku teploty, vlhkosti, délky trvání zatížení. Musíme vzít v úvahu nejistotu o stavu nosných prvků. Pokud je nalezena degradace je třeba vypracovat její model a vzít ho v úvahu při posuzování konstrukce. [5]

## 2.8 Ověřování

Při ověřování spolehlivosti konstrukce musíme brát v úvahu její zbytkovou životnost, případnou změnu v užívání, ekonomické a sociální hledisko. Postupujeme podle koncepce mezních stavů. Konstrukci posuzujeme na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Můžeme přitom využít metodu dílčích součinitelů nebo metody teorie spolehlivosti. Pro posouzení musíme použít aktualizované základní veličiny. Norma ČSN ISO 13 822 nabízí pro aktualizaci základních veličin tři metody. Jedná se o **pravděpodobnostní analýzu** nebo **metodu dílčích součinitelů a přímou aktualizaci náhodné veličiny**. [5]

### 2.8.1 Časově závislá spolehlivost

Při posuzování stávajících konstrukcí si musíme uvědomit že, jak intenzita zatížení, tak odolnost konstrukce se postupem času mění. Jsou tedy závislé na čase. Tento problém můžeme zahrnout do výpočtu třemi možnými způsoby.

- modelem založeným na spojitých náhodných funkcích
- použitím náhodných stupňovitých procesů
- transformací na časově nezávislý problém

Vzhledem k nepraktičnosti prvních dvou způsobů se v inženýrských aplikacích obvykle používá transformace na časově nezávislý problém. [5]

### 2.8.2 Časově závislé zatížení

Problém časově závislého zatížení můžeme transformovat na časově nezávislý na základě tzv. Turkstrova pravidla:

Pokud je účinek zatížení dán součtem dvou nezávislých zatížení v referenční době, pak lze maximální účinek kombinace těchto dvou zatížení určit jako větší z hodnot: Maximální hodnota prvního plus průběžná hodnota druhého nebo průběžná hodnota prvního plus maximální hodnota druhého. Na stejném principu je založeno určení zatížení podle ČSN EN 1990. Proto můžeme zatížení určit podle této normy. K určení zatížení lze využít i následujících postupů přednostně budou ovšem vysvětleny pro odezvu konstrukce. [5]

### 2.8.3 Užitečné metody uvedené v ISO 2394

Norma ČSN ISO 13 822 dovoluje při vyhodnocení výsledků prohlídek využít postupy uvedené v normě ISO 2394, která se zabývá aplikací obecných pravděpodobnostních principů ve stavebnictví. Dále budou uvedeny dva z těchto postupů, týkající předmětné problematiky.

#### Aktualizace rozdělení

Pokud máme k dispozici starší, ale stále věrohodné rozdělení veličiny získané například kontrolními zkouškami na nepříliš staré konstrukci nebo provádíme opakované hodnocení s krátkým časovým odstupem, pak můžeme provést aktualizaci rozdělení na základě následujících vztahů. [7]

$$\text{ch)} \quad n'' = n' + n$$

$$\text{i)} \quad v'' = v' + v + \delta\{n'\}$$

$$\text{j)} \quad m''n'' = n'm' + nm$$

$$\text{k)} \quad [v''(s'')^2 + n''(m'')^2] = [v'(s')^2 + n'(m')^2] + [vs^2 + nm^2]$$

Kde:  $v = n - 1$ ;  $\delta\{n'\} = 0$  pro  $n' = 0$  a  $\delta\{n'\} = 1$  jinak;

$$v' = 1/2V^2$$

n... Počet pokusů

v... Počet stupňů volnosti

m... Střední hodnota

s... Výběrová směrodatná odchylka

- Dvoučárkovane jsou značeny hodnoty výsledného aktualizovaného rozdělení.
- Jednočárkovane jsou značeny hodnoty nově měřeného rozdělení.
- Bez doplňujícího označení jsou hodnoty původního převzatého rozdělení. [8]

**Bayesovské postupy**

Vztaženo na okruh zájmové problematiky se jedná o metodu určení charakteristické nebo výpočtové hodnoty veličiny s pomocí studentova rozdělení podle vztahu:

$$l) \quad R = m_R - t_{vd} s_R \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n}\right)}$$

$m_R$  ...Střední hodnota

$s_R$  ...Výběrová směrodatná odchylka

$t_{vd}$  ...Koeficient studentova rozdělení podle tabulky 6.

$n$  ...Počet pokusů

Tabulka 7. Koeficienty studentova rozdělení, zdroj: [8]

Počet stupňů volnosti, v										
$\beta_R$	$\Phi(-\beta_R)$	1	2	3	5	7	10	20	30	$\infty$
1,28	0,10	3,08	1,89	1,64	1,48	1,42	1,33	1,33	1,31	1,28
1,64	0,05	6,31	2,92	2,35	2,02	1,89	1,72	1,72	1,70	1,64
2,33	0,01	31,8	6,97	4,54	3,37	3,00	2,53	2,53	2,46	2,33
2,58	0,005	63,7	9,93	5,84	4,03	3,50	2,84	2,84	2,75	2,58
3,08	0,001	318	22,33	10,21	5,89	4,78	3,55	3,55	3,38	3,09

Výhodou tohoto postupu je možnost výběru kvantilu, který chceme získat. Postup bývá také doporučován pro případy malých statistických souborů a je odpovídající dalším alternativním postupům za předpokladu normálního rozdělení.

### 2.8.4 Přímá aktualizace náhodné veličiny

Je způsob vyhodnocení statistického souboru s jehož pomocí lze získat přímo návrhovou hodnotu veličiny použitelnou ve výpočtu:

$$\text{m) } X_d = \mu(1 - \alpha\beta V_x) \quad (\text{normální náhodná veličina})$$

$$\text{n) } X_d = \mu \cdot e^{(-\alpha\beta\sigma - 0,5\sigma^2)} \quad (\text{lognormální náhodná veličina})$$

$X_d$ ... Aktualizovaná návrhová hodnota  $X$

$\mu$ ... Střední hodnota

$\alpha$ ... Součinitel citlivosti

$\beta$ ... Směrný index spolehlivosti

$V$ ... Aktualizovaný variační koeficient

$$\sigma^2 = \ln(1 + V^2)$$

Součinitel citlivosti  $\alpha$  odečteme z následující tabulky.

Tabulka 8. Hodnoty součinitele citlivosti  $\alpha$ , zdroj: [5]

Základní veličina $X_i$	Součinitel citlivosti $\alpha_i$
Odolnosti hlavní	0,8
Odolnosti vedlejší	0,4 x 0,8 = 0,32
Zatížení hlavní	-0,7
Zatížení vedlejší	-0,4 x 0,7 = -0,28

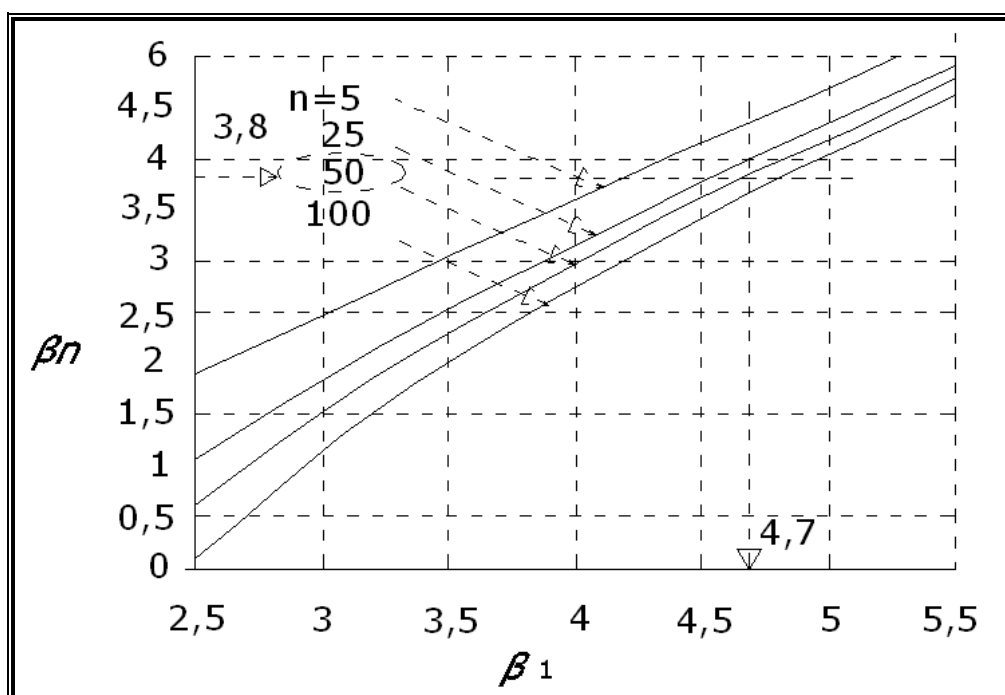
## Teoretická část

Pro určení směrného indexu spolehlivosti  $\beta$  použijeme následující tabulku a graf.

Tabulka 9. Hodnoty směrného indexu spolehlivosti  $\beta$  zdroj: [5]

Mezní stavy	Směrný index spolehlivosti $\beta$	Referenční doba
použitelnosti		
- vratné	0,0	plánovaná zbytková životnost
- nevratné	1,5	plánovaná zbytková životnost
únavy		
- kontrolovatelné	2,3	plánovaná zbytková životnost
- nekontrolovatelné	3,1	plánovaná zbytková životnost
únosnosti		
- velmi malý následek poruchy	2,3	$L_s$ v letech <sup>a)</sup>
- malý následek poruchy	3,1	$L_s$ v letech <sup>a)</sup>
- střední následek poruchy	3,8	$L_s$ v letech <sup>a)</sup>
- vysoký následek poruchy	4,3	$L_s$ v letech <sup>a)</sup>
<sup>a)</sup> $L_s$ minimální obvyklá doba z hlediska bezpečnosti (např. 50 let)		

Pokud je pro účely výpočtu žádoucí posoudit konstrukci s návrhovou životností  $L_s = 50$  let na jiný časový interval, například z důvodu kompatibility s výpočtem zatížení, můžeme hodnotu potřebného součinitele  $\beta$  nalézt v následujícím grafu. [6]



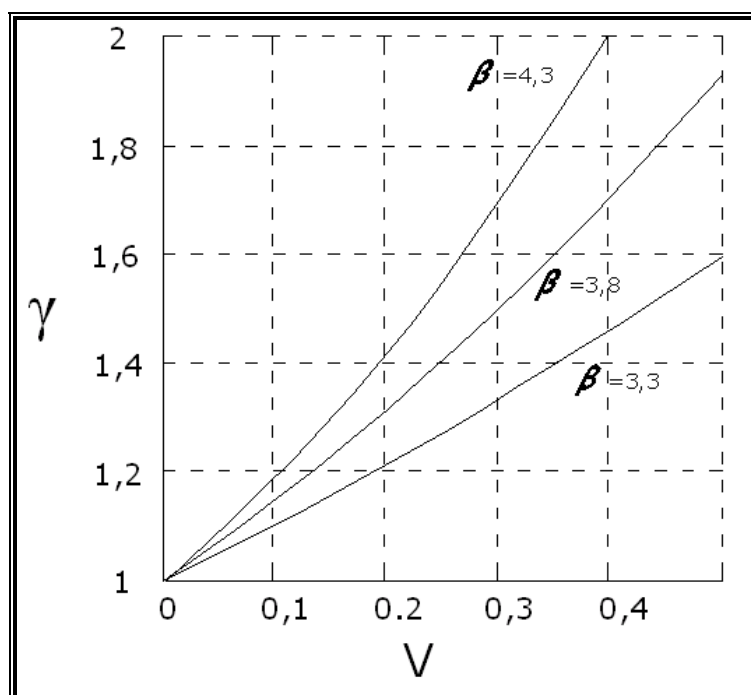
Graf 1; Přepočet indexu  $\beta$  pro jiný interval zatížení, zdroj: [5]

### 2.8.5 Metoda dílčích součinitelů

Návrhovou hodnotu odolnosti konstrukce získáme podělením charakteristické hodnoty dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma$ .

$$o) X_d = \frac{X_k}{\gamma_i}$$

Norma ČSN ISO 13 822 umožňuje úpravu dílčího součinitele bezpečnosti v závislosti na variačním koeficientu  $V_x$  a směrném indexu spolehlivosti  $\beta$ .



**Graf 2; Dílčí součinitel bezpečnosti podle variačního koeficientu a součinitele  $\beta$  zdroj: [5]**

Zajímavé je, že tímto postupem můžeme získat, jak menší hodnoty dílčích součinitelů bezpečnosti než je uvedeno v normě ČSN EN 1990, tak i hodnoty větší. [5]

## **2.9 Srovnání uvedených metod a obecná doporučení**

Za tímto účelem byly generovány soubory dat lišící se variačním koeficientem a střední hodnotou. Použité hodnoty variačního koeficientu: 0,1; 0,3 a 0,5. Použité střední hodnoty: 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 45; 60. Pro každý variační koeficient a každou střední hodnotu bylo generováno několik sad dat (3-10 v závislosti na střední hodnotě) podle normálního rozdělení s pomocí programu RC EXPERT 3.2.

Každá sada byla poté zpracována pomocí dříve uvedených metod. Tak vzniklo několik výsledných hodnot, které byly posuzovány jako samostatný statistický soubor s normálním rozdělením a jako celková výsledná hodnota každého souboru je uvažován pětiprocentní kvantil z jednotlivých výsledných hodnot.

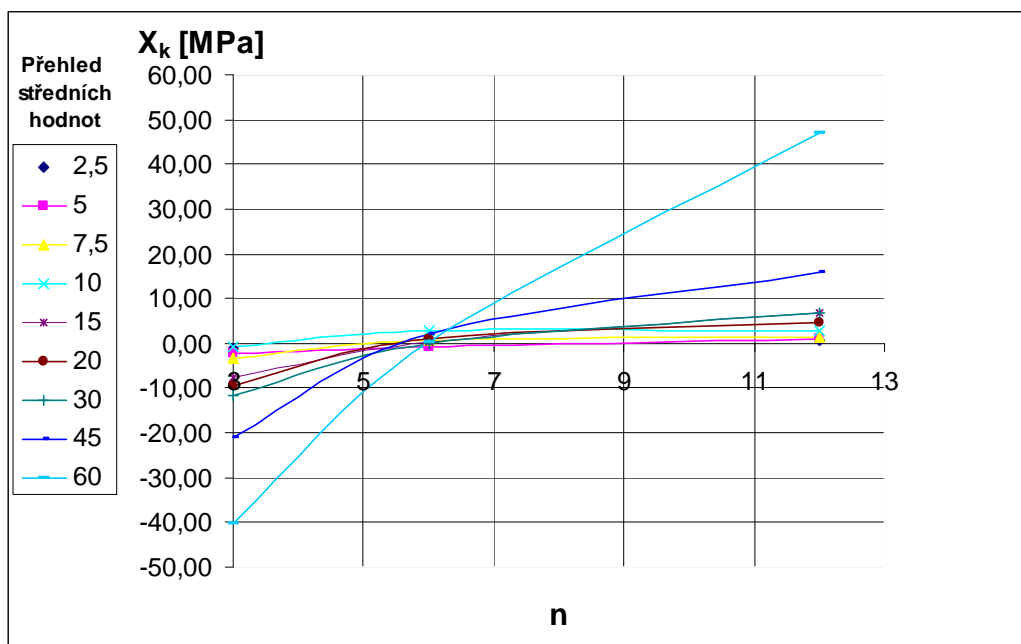
Následné závěry tedy můžeme tvrdit s 95% jistotou.

Cílem bylo vytvořit určitá doporučení pro posuzování souborů s nízkou střední hodnotou a vysokým variačním koeficientem.

Prezentované závěry a doporučení jsou patrné z následujících grafů:



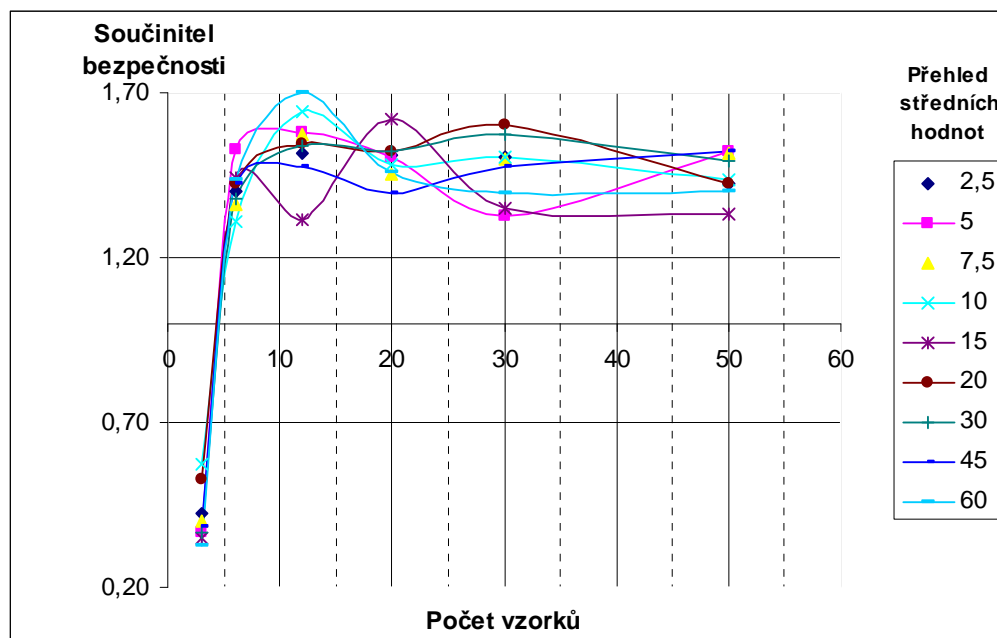
Pokud vyhodnotíme soubory pomocí metody dílčích součinitelů za předpokladu normálního rozdělení pro variační koeficient 0,3 a pro všechny střední hodnoty, vznikne následující graf:



**Graf 3; Průběh charakteristických hodnot souboru pro různé střední hodnoty v závislosti na počtu prvků.**

Z grafu vyplývá, že za daných podmínek je nevhodné používat normální rozdělení pro statistické soubory, které obsahují méně než 6 prvků z důvodu poklesu hodnoty do záporných čísel, což je pro odolnost konstrukce nežádoucí.

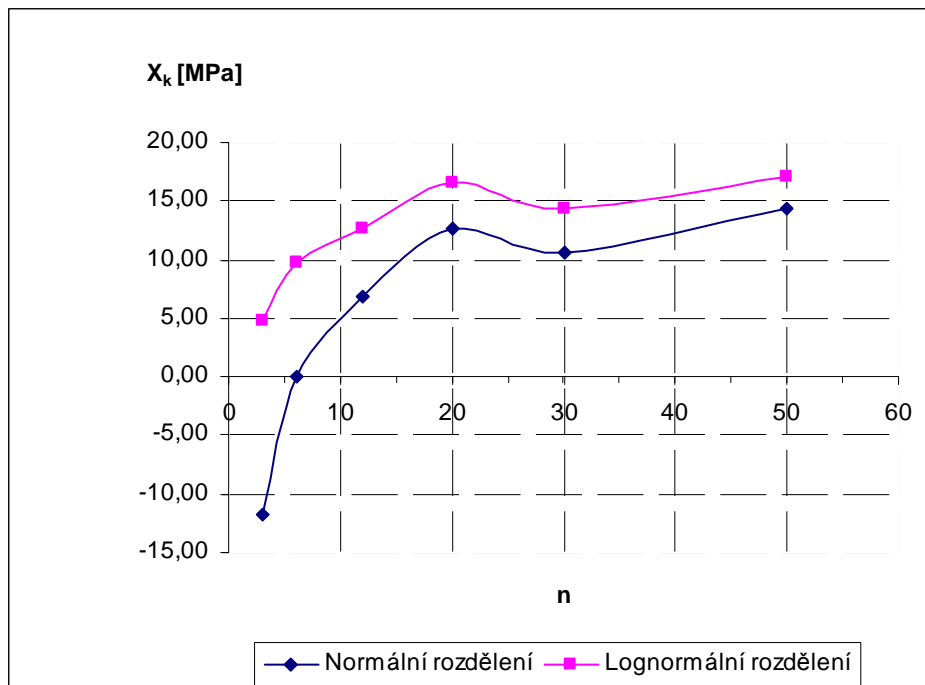
Body dalšího grafu vznikají jako podíl výsledných návrhových nebo charakteristických hodnot ( $X_k/X_d$ ) získaných po zpracování dat pomocí přímé aktualizace náhodné veličiny a metody dílčích součinitelů při uvažování log-normálního rozdělení a  $V_x=0,3$ . Výsledkem je dílčí součinitel bezpečnosti, který poslouží pro srovnání těchto dvou metod:



**Graf 4; Průběh dílčího součinitele bezpečnosti pro různé střední hodnoty v závislosti na počtu vzorků.**

Z grafu je patrné, že při počtu pokusů menším než 5 vychází návrhová hodnota nižší než charakteristická. Přímá aktualizace náhodné veličiny tedy není vhodná při takovém počtu vzorků.

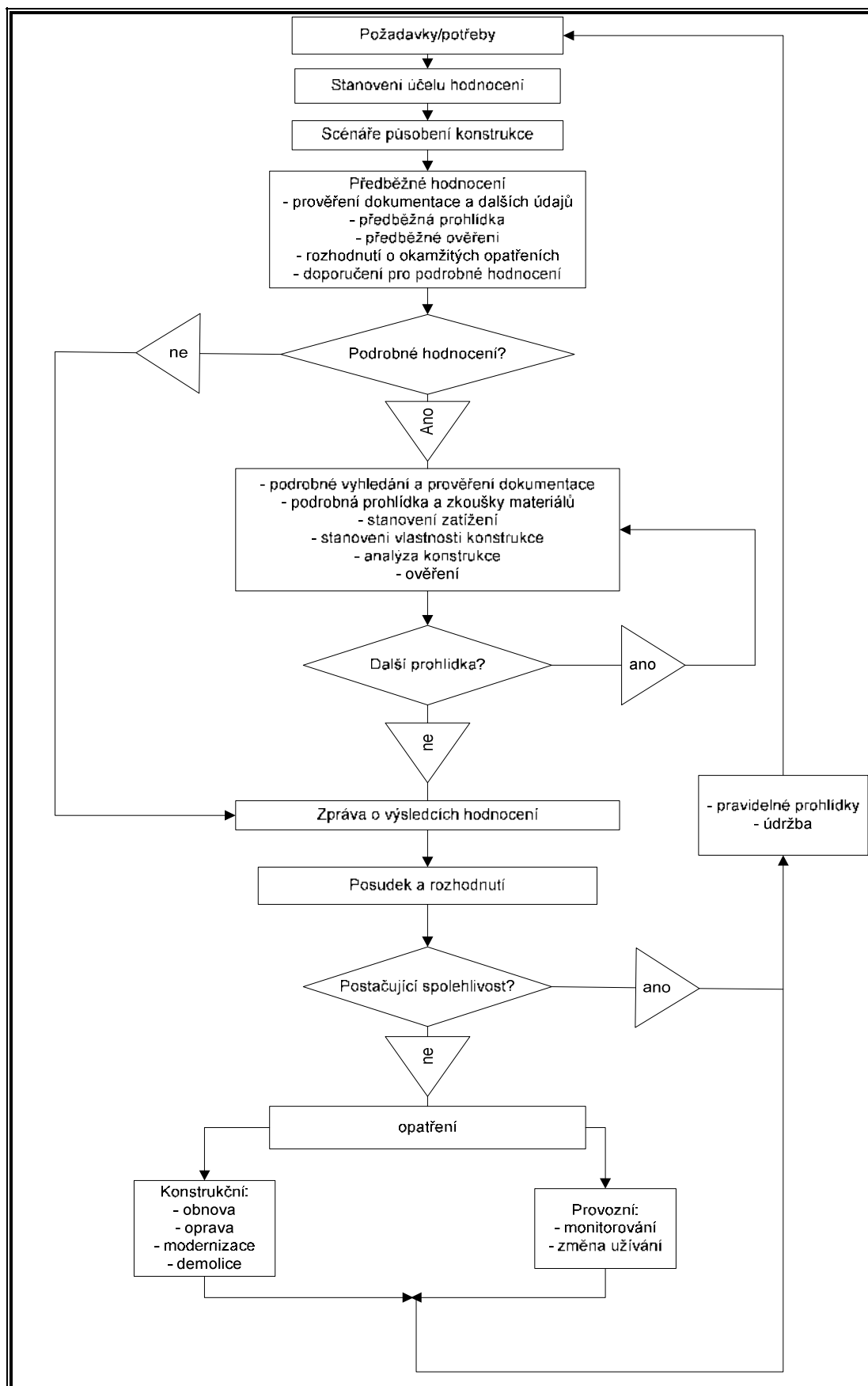
Na posledním grafu je zobrazeno srovnání průběhu charakteristické hodnoty získané metodou dílčích součinitelů za předpokladu normálního a lognormálního rozdělení pro variační koeficient 0,3 a střední hodnotu 30. Pro jiné střední hodnoty je průběh obdobný:



**Graf 5; Srovnání normálního a lognormálního rozdělení  
pro různý počet vzorků**

Zde můžeme opět sledovat pokles hodnoty do záporných čísel při normálním rozdělení a počtu vzorků menším než 6. Zároveň jsou zde ovšem patrné vyšší výsledné charakteristické hodnoty při uvažování lognormálního rozdělení a jakéhokoliv počtu vzorků. Pokud tedy není prokázána příslušnost souboru k lognormálnímu rozdělení není vhodné toto rozdělení uvažovat z důvodu posunu výsledků na nebezpečnou stranu.

## 2.10 Vývojový diagram



Graf 6; vývojový diagram, zdroj [5]

V zájmu efektivního hodnocení stávající konstrukce je dobré postupovat v duchu vývojového diagramu. Tento postup vede ke zpřesňování informací, dokud nelze bez pochybností rozhodnout o budoucnosti posuzované konstrukce. [7]

## **2.11 Doporučená struktura zprávy podle ČSN ISO 13 822**

V informativní příloze G této normy se uvádí doporučená struktura pro tvorbu zprávy. Zpráva by měla obsahovat tyto části:

- **Titulní strana**, na které je uveden název, datum, objednatel a plné jméno a adresa autora.
- **Jméno inženýra a/nebo firmy** s uvedenými osobami provádějícími hodnocení, zástupci objednatele a dalšími účastníky.
- **Souhrn**, tedy výstižné a stručné shrnutí problému s uvedením významných prvků vyšetřování, hlavních závěrů a doporučení a všech důležitých výhrad a zamítnutí.
- **Obsah**
- **Rozsah hodnocení** s určením důvodů hodnocení a rozsahu práce tak, jak jsou dohodnuty mezi objednatelem a inženýrem. Má být popsán postup hodnocení a zaznamenány všechny činnosti během hodnocení. Určí se plán využití a plán bezpečnostních opatření.
- **Popis konstrukce** se stručným a výstižným uvedením názvu, adresy, nosného systému včetně výkresů, historie původní nosné konstrukce, následných změn, předchozího a současného systému využívání.
- **Vyšetřování**
- **Zkoumané dokumenty**: Seznam dokumentů, které má inženýr k dispozici, včetně jejich původu.
- **Počet prohlídek** se zaznamenáním omezení účinnosti prohlídek vzniklých mimo dosah kontroly inženýra.
- **Postupy odběrů zkušebních vzorků a postupy zkoušek** s uvedením důvodu, počtu a datem odběru zkušebních vzorků a označením místa odběru. Dále se uvede jméno laboratoře společně se smluvními opatřeními pro postupy odběrů zkušebních vzorků a zkoušek. Má se uvést účel a podstata zkoušek/analýz následované

shrnutím výsledků. Mají se přiložit kopie laboratorních protokolů o zkouškách. V případě zatěžovací zkoušky se plán zkoušky a další dokumenty uvedou v příloze.

- **Analýza** s uvedením způsobu provedení výpočtu a kritérií, která byla použita při posouzení. Mají se stručně shrnout výsledky analýzy. Podrobné výpočty se mohou uvést v příloze.
- **Ověření**
- **Analýza údajů**, která podrobuje diskuzi důležitost každého výsledku, pro účel hodnocení. Uvede se zde každá nejistota, která po vyšetřování zbývá a nezbytnost případného dalšího ověření.
- **Posouzení možných variant opatření** s odhadem nákladů
- **Závěry a doporučení**
- **Závěry:** Přísné a logické posudky, které vyplývají z pečlivého zhodnocení získaných informací. Je vhodné stručně popsat přesnost a omezení použitých metod a skutečný význam výsledků.
- **Doporučení**, kde se ve stručném a logickém sledu popíše průběh činností, které jsou pro objednatele proveditelné a vycházejí ze závěrů. Pro jednotlivé práce se poskytne hrubý odhad nákladů. Má se určit zbytková životnost, plán prohlídek a údržby a termín dalšího hodnocení.
- **Přílohy** s uvedením fotografií, laboratorních protokolů o zkouškách, výpočtů atd. [5]

Tuto strukturu lze upravit pro potřeby konkrétního hodnocení.

## **2.12 Dílčí závěr teoretické části**

Hodnocení stávajících konstrukcí podle ČSN ISO 13 822 je možné díky souladu s návrhovou normou ČSN EN 1990 a umožňuje nám aplikovat moderní a citlivý přístup ke starším konstrukcím, norma klade velký důraz na zkušenosti a inženýrský odhad osoby provádějící hodnocení.

Problémem zůstává absence přímo navazujících prováděcích norem, podle názoru autora ovšem neexistuje logická překážka k použití prováděcích norem přidružených ať už k normě ČSN EN 13 791 nebo starší ČSN 73 20 11.

Velmi cenou součástí ISO normy jsou národní přílohy NC, které obsahují přehledy dříve používané výztuže.

### 3 Praktická část

V této části bude provedeno předběžné a podrobné hodnocení reálné konstrukce před nadstavbou včetně analýzy části konstrukce. Hodnocení bude provedeno s ohledem na požadavky normy ČSN ISO 13 822. Struktura této části bude vytvořena podle přílohy G této normy.

#### 3.1 Titulní strana

**Název:** Hodnocení pavilonu č. 3 Výzkumného ústavu veterinárního lékařství, Hudcova ulice č. 70 Brno před nadstavbou.



F1: Pohled na vstupní část budovy, zdroj: [7]

**Datum:** 8.4. 2010

**Objednatel:** INTAR a.s.

**Autor:** Vladimír Smrčka

### **3.2 Jméno inženýra, firmy**

Hodnocení konstrukce bylo provedeno za spoluúčasti:

Ing. Petr Cikrle, Ph.D., VUT, Ústav stavebního zkušebnictví

Ing. T. Labík, zástupce firmy INTAR a.s.

### **3.3 Souhrn**

Následující hodnocení konstrukce bylo provedeno s cílem určení způsobilosti stávajícího objektu pro provedení nadstavby. Studium dokumentace naznačilo, že mohou vzniknout problémy při analýze konstrukce. Protože je pevnostní třída betonu udávaná v původní dokumentaci příliš nízká, nelze z pohledu dnešních norem prokázat dostatečnou soudržnost betonu a výztuže a vznikají tak problémy při výpočtu.

Při předběžném hodnocení bylo zjištěno několik lehkých a jedna závažná porucha, tyto zjištění vyvolaly pochybnosti o stavu konstrukce a vyžádaly si provedení podrobného hodnocení.

Podrobné hodnocení ukázalo, že konstrukce je v mnohem horším stavu, než se původně předpokládalo a před provedením plánované nadstavby bude nutná rozsáhlá rekonstrukce objektu.

Před započítáním rekonstrukce je třeba provést doplňující hodnocení zaměřené na dosud neprozkoumané části konstrukce, včetně základů.

### **3.4 Obsah**

Obsah je samozřejmou součástí samostatné zprávy o hodnocení. V tomto případě je však již obsažen v celkovém obsahu bakalářské práce a zároveň nemá žádnou vypovídající hodnotu, proto bude vynechán. Pro úplnost je zde ovšem zmíněn. [7]



### **3.5 Rozsah hodnocení**

V rámci respektování metodiky ISO normy budou na sebe jednotlivé kroky hodnocení navazovat v souladu s postupem hodnocení (str. 12) . Nejdříve bude tedy provedeno předběžné hodnocení konstrukce sestávající se z předběžného studia dokumentace, předběžné prohlídky a předběžného hodnocení. Poté bude vypracován návrh podrobného hodnocení, které se bude skládat z podrobného vyhledání a prověření dokumentace, podrobné prohlídky a zkoušek materiálů, stanovení zatížení, stanovení vlastností konstrukce, analýzy části konstrukce a ověření.

### **3.6 Popis konstrukce**

Jedná se o třetí pavilon Výzkumného ústavu veterinárního lékařství, Hudcova 70, Brno.

Objekt je tvořen jedním podzemním a čtyřmi nadzemními podlažími. Uspořádání hlavní nosné konstrukce je následující. Svislou nosnou konstrukci 1PP, 1NP a 2NP tvoří monolitické železobetonové sloupy. Zbýlá část svislé nosné konstrukce je zděná tvořená sloupy a zdmi z prostého zdiva. Vodorovné nosné konstrukce jsou částečně provedeny z monolitických železobetonových průvlaků, trámů a desek. Dále lze v konstrukci nalézt stropy z prefabrikovaných železobetonových nosníků a keramických vložek nebo stropy dřevěné. Nadokenní a nadedvěrní překlady jsou převážně monolitické železobetonové.

Konstrukce byla postavena v padesátých letech dvacátého století. Nebyly nalezeny záznamy o žádných dosud provedených přestavbách ani rekonstrukcích.

### **3.7 Vyšetřování**

#### **3.7.1 Zkoumané dokumenty**

Jako podklady byly použity pasporty jednotlivých podlaží, dostupné výkresy výztuže a obecně dostupné informace. Ve výkresech výztuže je uvedena třída betonu 170 podle normy ČSN 73 2001 z roku 1956, které podle tabulky NC.1 národní přílohy NC.2 normy ISO odpovídá charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku 13,5 MPa. Nejbližší nižší stávající třída je C 8/10, kterou ovšem podle dnešních norem nelze považovat za konstrukční. Nastává zde tedy problém se započítáním a určením meze kluzu výztuže. Mez kluzu výztuže ve stávajících železobetonových konstrukcích lze nalézt v tabulkách NC.2, 3 a 4 národní přílohy NC.3 normy ISO ovšem pouze za předpokladu minimální třídy betonu C 12/15. V tomto případě bude tedy nejspíše nutné laboratorní ověření vlastností betonu a výztuže. [7]

#### **3.7.2 Počet prohlídek**

V rámci předběžného hodnocení byla provedena jedna prohlídka dané konstrukce.

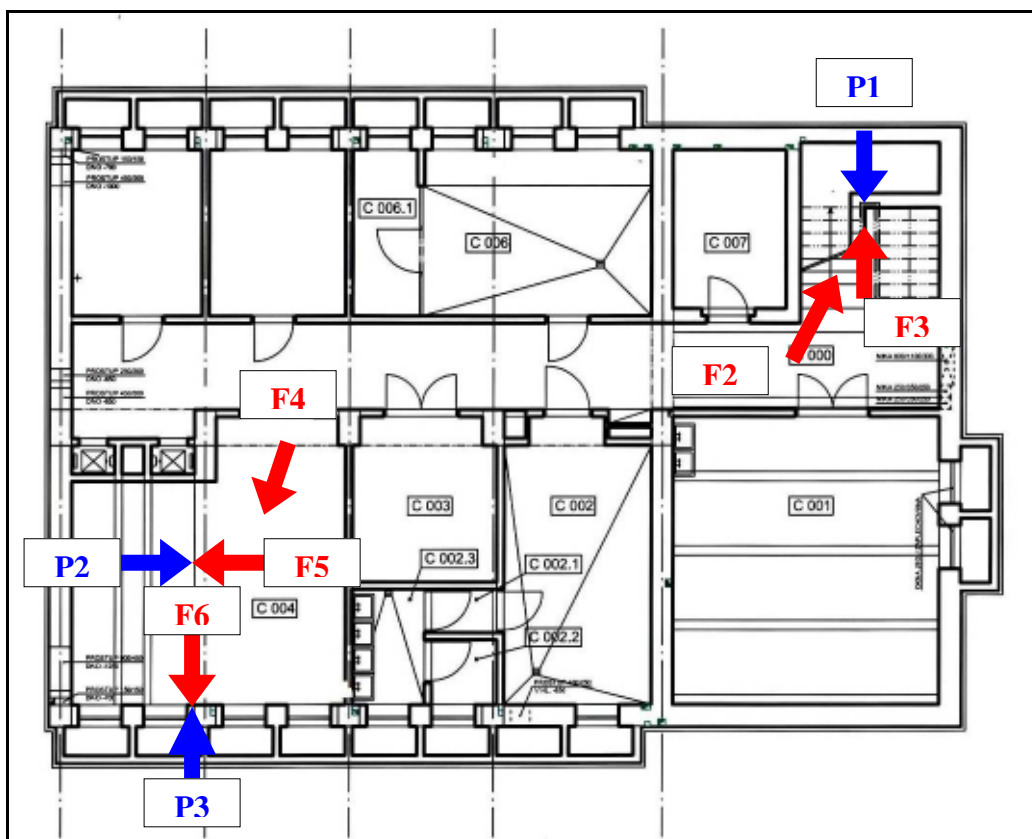
#### **3.7.3 Postupy odběru zkušebních vzorků a postupy zkoušek**

V této fázi hodnocení nebyly odebrány žádné vzorky. Také nebyly provedeny žádné zkoušky. Uskutečnila se ovšem předběžná vizuální prohlídka konstrukce a její porovnání s dostupnými dokumenty. Zjištěné nedostatky byly zdokumentovány a vyznačeny ve výkresech. [7]

### 3.7.4 Předběžná prohlídka a fotodokumentace

Následují půdorysy jednotlivých pater s vyznačenými nalezenými poruchami (označení **P...**). Do půdorysů je také vyznačeno provedení fotodokumentace (označení **F...**). Ke každé poruše je proveden krátký komentář a přiložena fotodokumentace. [7]

Obr 1: Půdorys prvního podzemního patra s vyznačenými poruchami a fotografiemi



**P1:** Na schodišti mezi 1PP a 1NP byly zjištěny trhliny ve styku posledního stupně a podesty. Tyto trhliny mohou být způsobeny rozdílným sedáním hlavní a schodišťové části budovy. Dokumentace těchto trhlin je provedena na fotografiích **F2** a **F3**. [7]



F2: Pohled na trhliny ve styku posledního schodišťového stupně a podesty v 1PP.



F3: Detail trhliny ve styku posledního schodišťového stupně a podesty v 1PP. Šířka 5mm

**P2:** Trhlina v příčniku v suterénní místnosti. Je možné, že pochází od nadměrných průhybů prvku, proto je třeba prvek podrobit dalšímu zkoumání. Trhlinu dokumentuje fotografie **F5**.

**P3:** Na sloupu v místnosti 1PP bylo zjištěno vystoupnutí výztuže až na povrch omítky. Jedná se o závažnou statickou poruchu, kterou je třeba neprodleně řešit. Po odhalení místa pomocí ruční škrabky byla dále zjištěna velmi špatná struktura betonu. Beton se doslova drolil pod rukama. Je třeba ověřit kvalitu v ostatních prvcích, zda-li se jedná o lokální poruchu nebo špatnou kvalitu celé konstrukce. Porucha je zdokumentována na fotografii **F6**. [7]



F4: Dispozice místnosti v 1PP



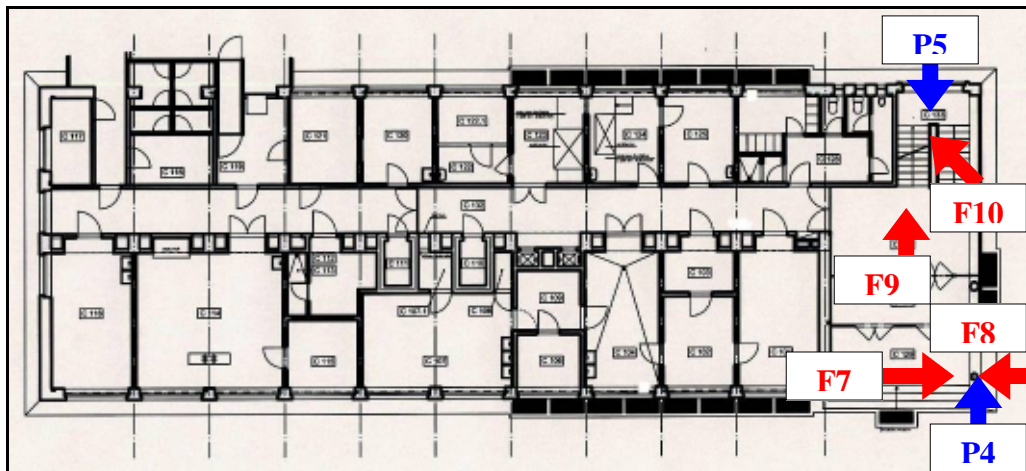
F5: Trhlina v příčnicku stropní konstrukce 1PP. Šířka 1-2 mm.



F6: Detail poruchy P3



Obr 2: Půdorys 1NP s vyznačenými poruchami a fotografiemi



**P4:** Na zídce při vstupu do budovy se objevily trhliny o šířce až 4 mm. vzhledem k jejich umístění nemají žádný statický vliv. Mohou být ovšem způsobeny pohybem přilehlého sloupu. Je vhodné sledovat jejich další rozvoj. Tyto trhliny jsou zdokumentovány na fotografiích **F7** a **F8**. [7]

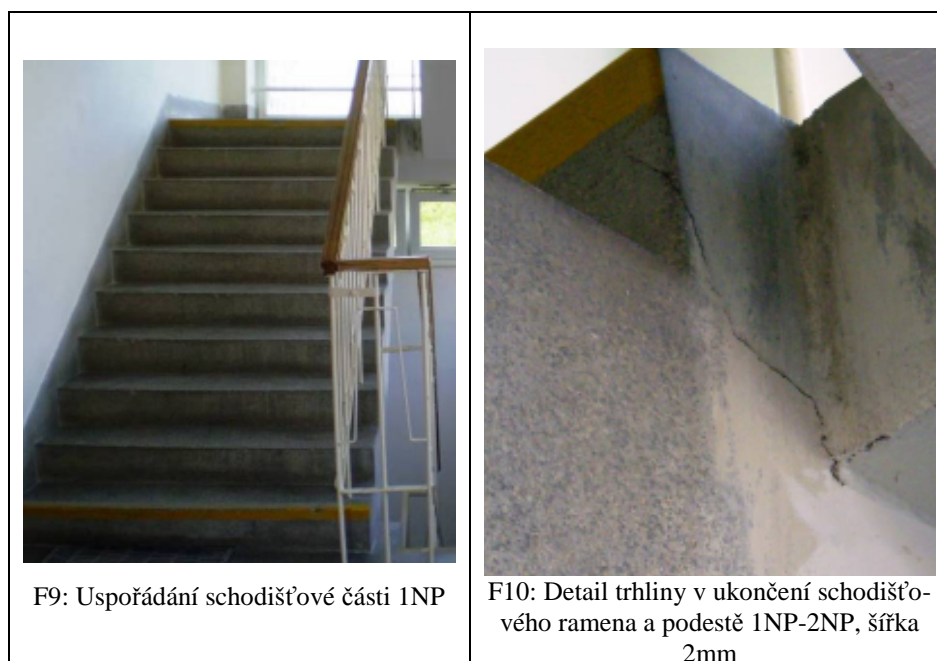


F7: Trhlina ve schodišťové zídce. Šířka 2-4mm

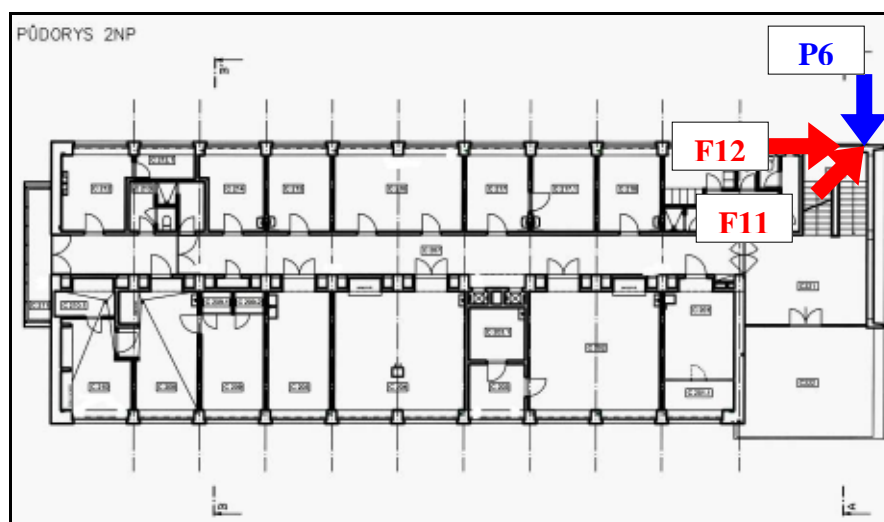


F8: Detail trhliny ve schodišťové zídce. Šířka 2-4mm

**P5:** Také na spojení posledního schodišťového stupně a podesty mezi 1NP a 2NP se vyskytly trhliny obdobného charakteru jako o patro níže. Může se jednat o důsledek rozdílného sedání různých částí konstrukce. Tato porucha je zachycena na fotografiích **F9** a **F10**. [7]



Obr 3: Půdorys 2NP s vyznačenými poruchami a fotografiemi



**P6:** Vodorovná trhлина ve sloupu, její poloha naznačuje, že může jít o nesprávně provedenou pracovní spáru. Doporučuji odhalení prvku a jeho prozkoumání. Dokumentace na fotografiích **F11** a **F12**. [7]

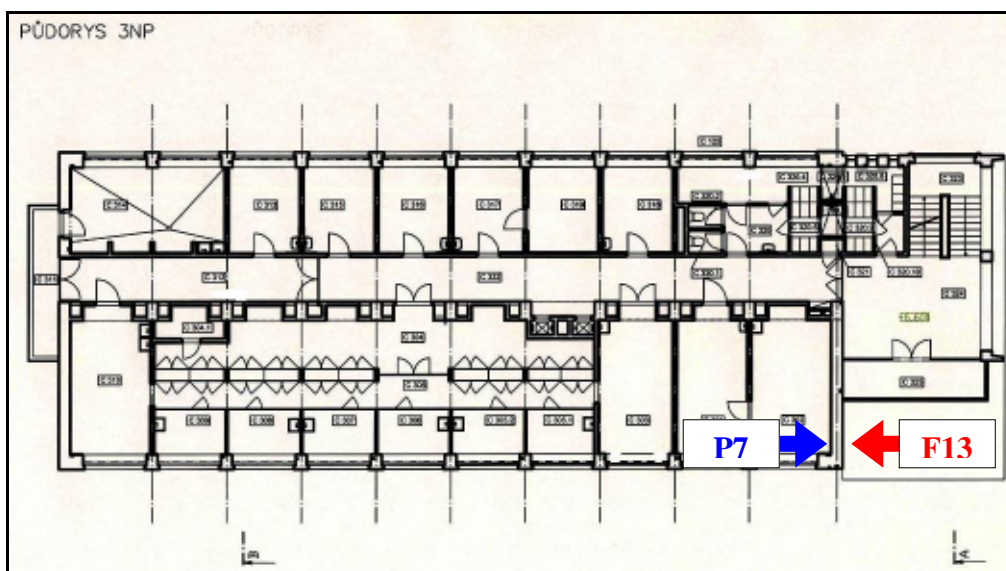


F11: 1-2mm široká trhlina ve sloupu 2NP



F12: Detail trhliny ve sloupu 2NP. Šířka 2mm

Obr 4: Půdorys 3NP s vyznačenými poruchami a fotografiemi





**P7:** Na terase ve 3NP byl objeven mohutný průsak vody. Takové promáčení konstrukce může vést k její rychlé degradaci, proto je nutné zjistit příčinu a zamezit dalšímu prosakování vody. Dokumentace na fotografii **F13**. [7]



F13: Průsak vody na terase 3NP.

### 3.8 Analýza

V konstrukci bylo nalezeno několik trhlin, jedna staticky významná porucha a na jednom místě promáčení konstrukce. Problematická je také třída betonu podle výkresové dokumentace. Ze získaných údajů nelze posoudit chování konstrukce po přetížení. Dále je třeba staticky zajistit sloup v 1PP. [7]

### 3.9 Ověření

Vzhledem k předpokládané změně zatížení nelze rozhodnout o bezpečnosti konstrukce po provedení nástavby. [7]

### **3.10 Analýza údajů**

Dispozice budovy odpovídá obdrženým výkresům, lze tedy předpokládat, že zde skutečně nedošlo k žádné přestavbě. Předpokládaná třída betonu podle dokumentace neodpovídá dnešním požadavkům na konstrukční beton. Nalezené trhliny v omítce mohou znamenat poškození konstrukce pod nimi. Zjištěný průsak vody může vést k rychlé degradaci konstrukce. Porucha na sloupu v 1PP může znamenat sníženou kvalitu celé konstrukce. Kritickými prvky po přetížení konstrukce budou sloupy tvořící svislou nosnou konstrukci budovy. [7]

### **3.11 Posouzení možných variant opatření**

První variantou je ponechání konstrukce ve stávajícím stavu. Tato varianta nevyžaduje žádné další investice, koliduje ovšem se záměrem objednatele provést nadstavbu.

Druhou variantou je preventivní zpevnění konstrukce bez dalšího průzkumu a následné provedení nadstavby. Tato varianta ovšem relativně drahá vezmeme-li v úvahu, že jí nelze efektivně provést bez dalšího průzkumu konstrukce.

Třetí variantou je **provedení podrobného hodnocení** konstrukce. Toto je nejlevnější varianta dalšího postupu, která nám také umožní provést případnou rekonstrukci efektivně. [7]

### **3.12 Závěry a doporučení**

#### **3.12.1 Závěry**

Z předběžného hodnocení nelze vyvodit dostatečně platné závěry o bezpečnosti konstrukce po provedení nástavby. Nejlepší variantou dalšího postupu je provedení podrobného hodnocení konstrukce. [7]

#### **3.12.2 Doporučení**

Již studium dokumentace naznačilo možné problémy s kvalitou betonu. Proto je důležité ke konstrukci přistupovat i nadále obezřetně. Zjištění na sloupu v 1PP, tedy vyboulení výztuže a následně odhalená velmi špatná struktura betonu, jsou natolik významná, že doporučuji provést podrobné hodnocení konstrukce, které bude v první řadě zaměřeno na odhalení prvků se zjištěnými trhlinami v omítce a ověření jejich únosnosti. Dále na ověření únosnosti svislých nosných prvků, které budou nejvíce ovlivněny přetížením. Vzhledem ke stáří konstrukce také doporučuji namátkové ověření kvality materiálu v konstrukci.

Dále doporučuji zamezení dalšího průniku vody do konstrukce a statické zajištění sloupu v 1PP. [7]

### **3.13 Podrobné hodnocení**

#### **3.13.1 Rozsah hodnocení**

S objednatelem bylo dohodnuto provedení nedestruktivních zkoušek pomocí Schmidtova tvrdoměru doplněných jádrovými vývrty. Při započetí prací bylo ovšem zjištěno, že beton nelze na většině míst obrousit do požadované hladkosti. Na místech, které se podařilo obrousit a byla zde uskutečněna měření pomocí schmidtova tvrdoměru, bylo zjištěno, že provedené odrazy vychází pod dolní hranici kalibračního vztahu pro normální beton. Proto bylo po další konzultaci s objednatelem dohodnuto neprovedení nedestruktivních zkoušek a zvýšení počtu jádrových vývrtů.

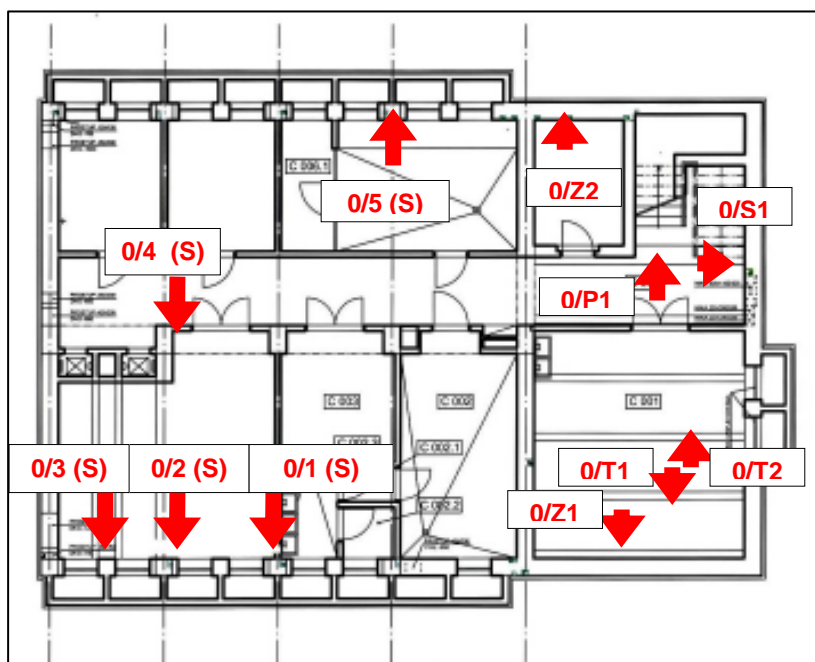
Podrobné hodnocení se po poslední konzultaci s objednatelem bude tedy zabývat zejména určením odolnosti svislých a vodorovných nosných konstrukcí v 1 PP. Z konstrukce budou odebrány jádrové vývrty, které budou využity ke zjištění objemové hmotnosti, rychlosti průchodu ultrazvuku a krychelné pevnosti betonu v tlaku. Dále bude provedeno rozkrytí některých dříve nalezených závad a namátkové ověření výztuže v konstrukci. V rámci analýzy konstrukce bude určeno zatížení a ověřena únosnost vybraných prvků konstrukce.

### 3.13.2 Postupy odběru zkušebních vzorků a postupy zkoušek

Ve vyznačených místech byly provedeny jádrové vývrty za dodržení podmínek pro odběr vzorků (viz kap. 2.6.1. str. 20). Významy použitých zkratek jsou následující:

- Z pro zeď
- S pro sloup
- P pro průvlak
- T pro trám

Obr 5: Půdorys 1PP s vyznačenými místy odběru jádrových vývrtů



### 3.13.3 Fotodokumentace odebraných vzorků



F14: Vzorek 0/1 ze sloupu v 1. PP



F15: Vzorek 0/2 ze sloupu v 1. PP



F16: Vzorek 0/3 ze sloupu v 1. PP





F17: Vzorek 0/4 ze sloupu v 1. PP



F18: Vzorek 0/5 ze sloupu v 1. PP



F19: Vzorek 0/Z1 ze zdi v 1. PP

## Praktická část



F20: Vzorek 0/Z2 ze zdi v 1. PP



F21: Vzorek 0/S1 ze sloupu v 1. PP



F22: Vzorek 0/P1 z průvlaku v 1. PP





F23: Vzorek 0/T1 z trámu v 1. PP



F24: Vzorek 0/T2 z trámu v 1. PP

Vizuální posouzení odebraných vzorků predikuje velkou rozdílnost kvality betonu v různých částech konstrukce. Zatímco u některých je viditelná struktura kameniva vyhovující, u jiných je zřejmý velmi malý podíl hrubozrnného kameniva. V jednom případě se vzorek zcela rozpadl již při odběru.

### 3.13.4 Zjištění objemové hmotnosti

Objemové hmotnosti jednotlivých vzorků, zjištěné z rozměrů a váhy těles, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 10. Objemová hmotnost

Označ. tělesa	průměr <b>d</b> [mm]	výška <b>h<sub>v</sub></b> [mm]	hmotnost přir. <b>m<sub>r</sub></b> [g]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
0 / 2A	73,1	80,8	664,4	1959
0 / 2B	73,4	86,7	730,6	1991
0 / 3B	73,5	74,2	636,3	2021
0 / 4A	73,5	82,9	732,3	2082
0 / 4B	73,5	77,6	671,4	2039
0 / 5	50,5	94,4	392,3	2075
1 / 2	73,1	71,7	607,5	2019
0 / Z1	71,0	71,0	528,1	1879
0 / Z2	73,8	68,7	576,7	1962
0 / S1	50,6	47,0	187,0	1979
0 / P1A	50,8	56,6	240,8	2099
0 / P1B	50,8	54,8	228,0	2053
0 / T1	33,1	34,2	72,7	2470
0 / T2	50,8	52,4	220,5	2076
	Průměr			<b>2050</b>

Relativně nízká objemová hmotnost betonu, který není klasifikován, jako lehký beton může signalizovat nevhodné složení betonu nebo velkou pórovitost. Charakteristická hodnota objemové tíhy betonu činí:

$$m_g = 2050 \text{ kg/m}^3$$

$$s_g = 140 \text{ kg/m}^3$$

$$k_n = 0,38$$

$$G_k = m_g \pm k_n \cdot s_g = 2050 + 0,38 \cdot 140 = 2100 \text{ kg/m}^3$$

### 3.13.5 Rychlost průchodu ultrazvuku

Jednotlivé rychlosti průchodu ultrazvuku a jim odpovídající dynamické moduly pružnosti jsou opět zaneseny do tabulky:

Tabulka 11. Rychlost průchodu ultrazvuku

Označení tělesa	Doba průchodu UZ vln $T_{uz}$ [ $\mu$ s]				Rychlost ultrazvuku	Dynamický modul pružnosti
	1.	2.	3.	průměr	$v_L$ [m/s]	$E_{dyn}$ [Mpa]
0 / 2A	49	49	49	49	1650	4800
0 / 2B	36,5	36,9	36,7	36,7	2360	10000
0 / 3B	28,1	28,8	28,5	28,5	2610	12400
0 / 4A	31,7	30,8	31,4	31,3	2650	13100
0 / 4B	30,7	30,4	30,5	30,5	2540	11800
0 / 5	29,5	29,5	29,1	29,4	3210	19200
0 / Z1	39,6	39,7	39,9	39,7	1790	5400
0 / Z2	31,1	32,3	32,3	32,2	2130	8000
0 / S1	24,1	25,3	25,3	25,2	1860	6200
0 / P1A	19,6	19,7	19,7	19,7	2880	15700
0 / P1B	19,6	19,5	19,6	19,6	2800	14500
0 / T1	12,8	12,8	12,9	12,8	2660	12400
0 / T2	19,5	19,6	19,8	19,6	2670	13300

Nízké hodnoty rychlosti průchodu ultrazvuku a nízký dynamický modul pružnosti opět signalizují špatnou kvalitu betonu a vysokou přetvárnost materiálu. S využitím tabulky 5. lze beton zkoumaných prvků označit jako:

- Vzorek 0/5...Diskutabilní beton
- Vzorky 0/2A, 0/Z1 a 0/S1...Mizerný beton
- Všechny ostatní vzorky spadají do kategorie špatný beton

### 3.13.6 Krychelná pevnost betonu

Následuje souhrn jednotlivých, zjištěných krychelných pevností betonu v tlaku.

Tabulka 12. Pevnost betonu v tlaku

Ozna- čení tělesa	max. síla F [kN]	štíhlost $\lambda$	Koef. štíhlosti $K_{c,cy}$	Koef. průměru $K_{cy,d}$	pevnost $f_{c,cyl}$ [MPa]	Koef. krychelné pevnosti $K_{cy,cu}$	krychelná pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
0 / 2A	11,70	1,11	0,88	0,93	2,3	1,25	2,9
0 / 2B	14,90	1,18	0,90	0,93	2,9	1,25	3,7
0 / 3B	33,10	1,01	0,85	0,93	6,2	1,25	7,7
0 / 4A	62,20	1,13	0,89	0,93	12,1	1,25	15,1
0 / 4B	74,50	1,06	0,87	0,93	14,2	1,25	17,7
0 / 5	17,40	1,87	0,99	0,91	7,8	1,25	9,8
0 / Z1	8,80	1,00	0,85	0,93	1,8	1,25	2,2
0 / Z2	26,30	0,93	0,80	0,93	4,6	1,25	5,7
0 / S1	9,90	0,93	0,80	0,91	3,6	1,20	4,3
0 / P1A	44,40	1,11	0,88	0,91	17,6	1,25	22,0
0 / P1B	38,10	1,08	0,87	0,91	15,0	1,25	18,7
0 / T1	11,30	-	-	0,91	-	-	9,4
0 / T2	28,00	1,03	0,86	0,91	10,8	1,25	13,5

S ohledem na silnou nestejnorodost hodnot je při zjišťování charakteristické hodnoty pevnosti betonu v tlaku tento soubor v souladu s doporučeními z teoretické části této práce rozdělen na několik podsouborů.

Každý podsoubor, je pak vyhodnocen pomocí Metody dílčích součinitelů za předpokladu lognormálního rozdělení. Za těchto předpokladů můžeme dílčí součinitel bezpečnosti uvažovat podle vztahu:

$$p) \quad \gamma_R = \frac{e^{(-1,645V_r)}}{e^{(-\alpha_r\beta V_r)}} \quad [9]$$

**Podsoubor A:**

Označení tělesa	krychelná pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
0 / T2	13,5
0 / 4A	15,1
0 / 4B	17,7
0 / P1B	18,7
0 / P1A	22,0

$$m_x = 17,4 \text{ MPa}$$

$$V_x = 0,19$$

$$k_n = 2,33$$

$$X_k = 11,6 \text{ MPa}$$

Doporučený součinitel bezpečnosti:

$$\gamma_R = 1,30$$

I po rozdělení souboru je beton v těchto prvcích stále mírně nestejnorodý, přesto je však zatříditelný podle stávajících norem a to do pevnostní třídy **C8/10**. Tato pevnostní třída je však stále nevyhovující pro konstrukční beton.

**Podsoubor B:**

Označení tělesa	krychelná pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
0 / Z1	2,2
0 / 2A	2,9
0 / 2B	3,7
0 / S1	4,3

$$m_x = 3,3 \text{ MPa}$$

$$V_x = 0,28$$

$$k_n = 2,63$$

$$X_k = 1,5 \text{ MPa}$$

Doporučený součinitel bezpečnosti:

$$\gamma_R = 1,5$$

Podsoubor B se vyznačuje extrémně nízkou pevností jednotlivých vzorků a stále silnou nestejnorodostí. Zaručená pevnost betonu v tlaku v těchto prvcích je tak nízká, že jí nelze zatřídit do žádné pevnostní třídy betonu, je dokonce mírně nižší, než nejnižší pevnostní třídy malty a pórobetonu a mírně vyšší, než pevnost extrudovaného polystyrenu.

**Podsoubor C:**

Označení tělesa	krychelná pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
0 / Z2	5,72
0 / 3B	7,70
0 / T1	9,39
0 / 5	9,80

$$m_x = 8,2 \text{ MPa}$$

$$V_x = 0,23$$

$$k_n = 2,63$$

$$X_k = 4,4 \text{ MPa}$$

Doporučený součinitel bezpečnosti:

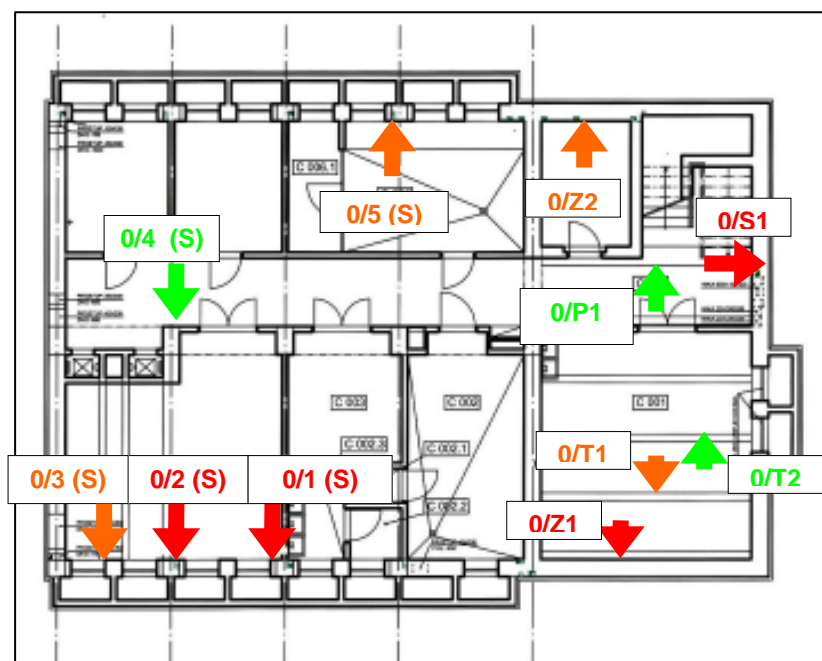
$$\gamma_R = 1,4$$

Beton v těchto vzorcích není v tak katastrofálním stavu, jako ve skupině B. Stále je ovšem charakteristická hodnota pevnosti 4,4 MPa alarmující. Beton v prvcích, které se nachází v tomto podsouboru lze zařadit do dnes nevyráběné třídy ,C 3/3,5‘.

Následuje grafické znázornění rozložení testovaných prvků v konstrukci s vyznačením příslušnosti ke statistickému souboru. Jednotlivé podsoubory jsou značeny:

- Podsoubor A: zeleně  $X_k = 11,6 \text{ MPa}$
- Podsoubor B: červeně  $X_k = 1,5 \text{ MPa}$
- Podsoubor C: Oranžově  $X_k = 4,4 \text{ MPa}$

**Obr 6: Půdorys 1PP s rozlišením prvků podle pevnosti**



### 3.13.7 Ověření výztuže

Na několika místech konstrukce bylo provedeno ověření výztuže magnetickým indikátorem a vizuálně. Byla zjišťována shoda skutečného stavu s projektovou dokumentací, druh výztuže, průměr a případná korozí.




Obr 7: Půdorys 2NP s vyznačením místa pro ověření výztuže



Na zkušebním místě 2/S1 byla s pomocí magnetického indikátoru vyznačena poloha výztuže. Poté odsekána povrchová vrstva a provedeno vizuální ověření výztuže. Zkušební místo je zdokumentováno na fotografiích F24, F25 a F26.

Bylo zjištěno mírné odchýlení tvaru výztuže bez výraznějšího statického vlivu. Hlavní výztuž je hladká, průměr 16 mm, mírně zkorodovaná. Třmínky jsou tvořeny také hladkou výztuží, průměru 6 mm, mírně zkorodované.



	 <p data-bbox="874 716 1364 779">F26: Hlavní výztuž v krajích sloupu: Hladká, průměr 16mm, mírně zkorodovaná</p>
<p data-bbox="287 1214 821 1272">F25: Ověření polohy výztuže na zkušebním místě 2/S1 elektromagnetickým indikátorem.</p>	 <p data-bbox="853 1294 1385 1415">F27: Sonda k výztuži v ose sloupu: Hlavní výztuž opět hladká, průměr 16mm. Třmínky jsou tvořeny hladkou výztuží průměr 6mm. Obě výztuže jsou mírně zkorodované.</p>

### 3.13.8 Rozkrytí poruchy P6

Jedná se vodorovnou trhlinu ve sloupu v 2NP. Po odstranění povrchových vrstev bylo zjištěno nesprávné provedení pracovní spáry. V tomto místě je hlavní výztuž ohnutá a neprůběžná. Zároveň navazující části sloupu nejsou v rovině, styčné plochy jsou vůči sobě posunuty o cca 30mm. Přibližně o 0,6m níže byla zjištěna další pracovní spára.





F28: Pracovní spára v betonovém sloupu



F29: Pracovní spára v betonovém sloupu

Zde nedošlo ke zjištění hlavní výztuže ani hloubkovou sondou, což je zřejmě důvod vzniku trhliny. Spára byla také špatně ošetřena a horní část sloupu nelícuje s dolní částí. V jednom směru přibližně o 30 mm a ve druhém o 10 mm.



F30: Porucha P6 sloupu v 2NP

V rohové části byl zjištěn mezerovitý beton. Jedna hlavní výztuž je průběžná, ovšem druhá je zahnuta zpět nahoru.

### 3.14 Analýza konstrukce

Pro analýzu byly vybrány svislé nosné konstrukce v 1PP. Zatížení bylo stanoveno podle ČSN EN 1990 a příslušných částí ČSN EN 1991 s uvážením skutečné objemové hmotnosti. Statický model konstrukce byl vytvořen v programu SCIA engineer 2011 (studentská verze), ve kterém byl poté také proveden výpočet vnitřních sil.

Vzhledem k nedostatečné kvalitě betonu v zájmových prvcích nelze bezpečně prokázat soudržnost betonu s výztuží, proto budou ve výpočtu tyto prvky uvažovány jako z prostého nebo slabě vyztuženého betonu.

### 3.14.1 Určení zatížení

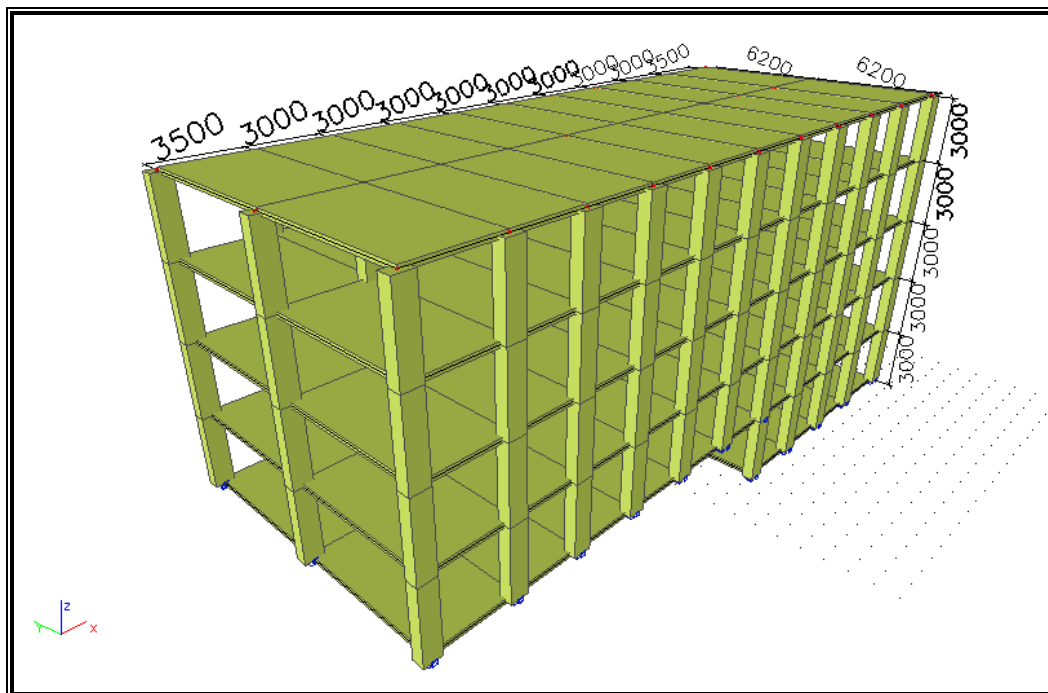
Jak bylo zmíněno v předchozím odstavci, zatížení bylo určeno v souladu s EN a ISO, dále je uveden přehled základních hodnot zatížení. Při vytváření hodnot zatížení předpokládáme odstranění stávající konstrukce zastřešení a vytvoření dvoupatrové nadstavby z tenkostěnných za studena válcovaných ocelových profilů včetně nového zastřešení.

- 1. Vlastní tíha:  $\gamma_c = 21 \text{ kNm}^{-3}$
- 2. Ostatní stálé: Příčky:  $8,55 \text{ kNm}^{-1}$   
                                     Podlaha:  $1,55 \text{ kNm}^{-2}$   
                                     Nástavba:  $6,27 \text{ kNm}^{-2}$
- 3. Užité:  $q_k = 4 \text{ kNm}^{-2}$
- 4. Sníh:  $s_k = 0,8 \text{ kNm}^{-2}$
- 5. Vítr:  $v_{bo} = 25 \text{ ms}^{-1*}$

### 3.14.2 Statický model

Vodorovné nosné konstrukce jsou modelovány jako skořepiny, svislé nosné konstrukce jako prostorové pruty. Systém podpor je uvažován jako vetknutí.

**Obr 8: Statický model konstrukce**



\* Pro stanovení účinků na konstrukci využit modul klimatická zatížení programu SCIA engineer, výsledky byly ověřeny ručním výpočtem.

### 3.14.3 Vnitřní síly

Následuje souhrn vnitřních sil od jednotlivých zatěžovacích stavů na centrálním sloupu (o/4) a krajním sloupu (o/1).

Tabulka 13. Vnitřní síly na centrálním sloupu

	$N_k$ [kN]	$M_k$ [kNm]
Vlastní tíha	-598	0
Ostatní stálé	-760	0
Užitné	-447	0
Sníh	-18,2	0
Vítr ve směru osy x	-0,03	54,65
Vítr ve směru osy y	-0,61	20,73

Tabulka 14. Vnitřní síly na krajním sloupu

	$N_k$ [kN]	$M_k$ [kNm]
Vlastní tíha	-377,51	16,65
Ostatní stálé	-393,48	22,6
Užitné	-231,21	13,59
Sníh	-18,2	0
Vítr ve směru osy x	-0,03	54,65
Vítr ve směru osy y	-0,61	20,73

### 3.14.4 Kombinace vnitřních sil

Následují kombinace vnitřních sil na sledovaných prvcích za účelem získání maximální normálové síly plus odpovídajícího ohybového momentu a maximálního ohybového momentu plus odpovídající normálové síly.

#### Centrální sloup o/4

$$N_{Ed,max} = -1,35 \cdot (598 + 760) - 1,5 \cdot (447 + 0,7 \cdot 18,2) = -2523 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,odp,x} = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 54,65 = 41 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,odp,y} = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 20,73 = 15,55 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max,x} = 1,5 \cdot 54,65 = 82 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max,y} = 1,5 \cdot 20,73 = 31 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,odp} = -1,35(598 + 760) - 1,5(0 + 0,7 \cdot 447 + 0,5 \cdot 18,2) = -2316,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,min} = 598 + 760 = 1358 \text{ kN}$$

#### Krajní sloup o/1

$$N_{Ed,max} = -1,35(378 + 394) - 1,5(231 + 0,7 \cdot 35 + 0,5 \cdot 8) = -1432 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,odp,x} = 1,35(17 + 23) + 1,5(13,6 + 0,7 \cdot 44,4) = 121 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,odp,y} = 1,5 \cdot 0,7 \cdot 17,58 = 18,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max,x} = 1,35(16,6 + 22,6) + 1,5(44,4 + 0,7 \cdot 13,6) = 133,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max,y} = 1,5 \cdot 17,6 = 26,4 \text{ kNm}$$

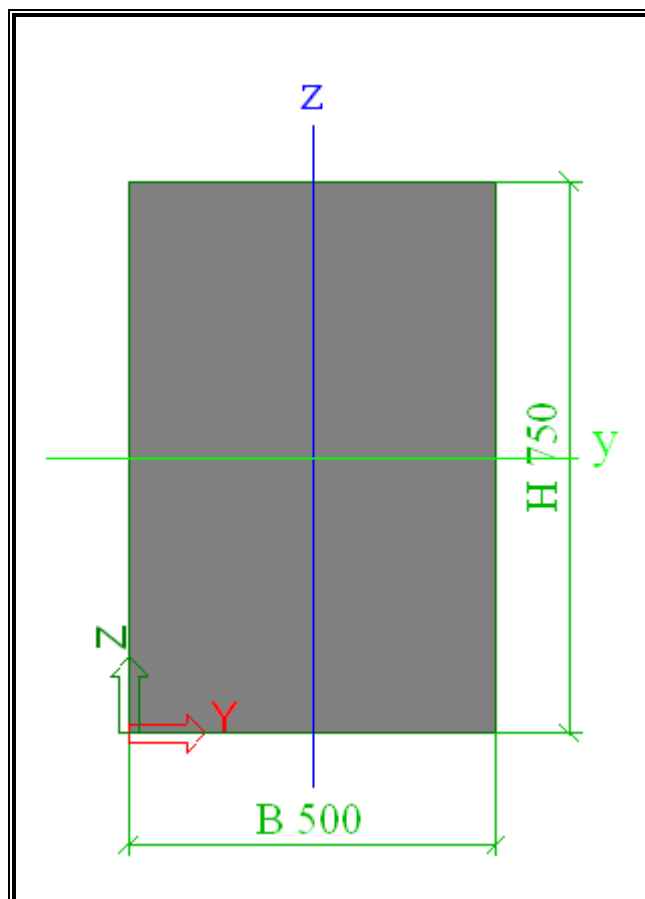
$$N_{Ed,odp} = -1,35(378 + 394) - 1,5(35 + 0,7 \cdot 231) = -1337,25 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,min} = 378 + 394 = 772 \text{ kN}$$

### 3.14.5 Únosnost centrálního sloupu

Následuje výpočet únosnosti centrálního sloupu v kombinaci s maximální normálovou silou. Tento prvek bude posuzován jako prvek z prostého nebo slabě vyztuženého betonu.

Obr 9: Rozměry sloupu [mm]



**Podmínka pro uvažování vzpěru**

$$b = 0,75 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m} = \frac{8}{1,3} = 6,15 \text{ MPa}$$

$$e_0 = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{82}{2523} = 0,0325 \text{ m}$$

$$e_1 = \frac{l_0}{400} = \frac{3}{400} = 0,0075 \text{ m}$$

$$e_d = e_0 + e_1 = 0,0325 + 0,0075 = 0,04 \text{ m}$$

$$l_0 = \beta_l \cdot l_w = 1 \cdot 3 = 3 \text{ m}$$

$$7h \left( 1 - \frac{2e_d}{h} \right) = 7 \cdot 0,5 \left( 1 - \frac{2 \cdot 0,04}{0,5} \right) = 2,94 \text{ m} \leq l_0 = 3 \text{ m}$$

$\Rightarrow$  je nutné uvažovat vzpěr

**Vzpěrná únosnost**

$$\phi = 1,14 \left( 1 - \frac{2e_d}{h_w} \right) - 0,02 \frac{l_0}{h_w} = 1,14 \left( 1 - \frac{2 \cdot 0,04}{0,5} \right) - 0,02 \cdot \frac{3}{0,5} = 0,8376$$

$$N_{Rd} = b \cdot h_w \cdot f_{cd} \cdot \phi = 0,75 \cdot 0,5 \cdot 6,15 \cdot 10^6 \cdot 0,8376 = 1931,7 \text{ kN}$$

$$|N_{Rd}| = 1931,7 \text{ kN} \leq |N_{Ed}| = 2523 \text{ kN}$$

$\Rightarrow$  Sledovaný prvek nevyhovuje požadavkům stávajících norem a je nutné provést opatření, které zvýší jeho únosnost.

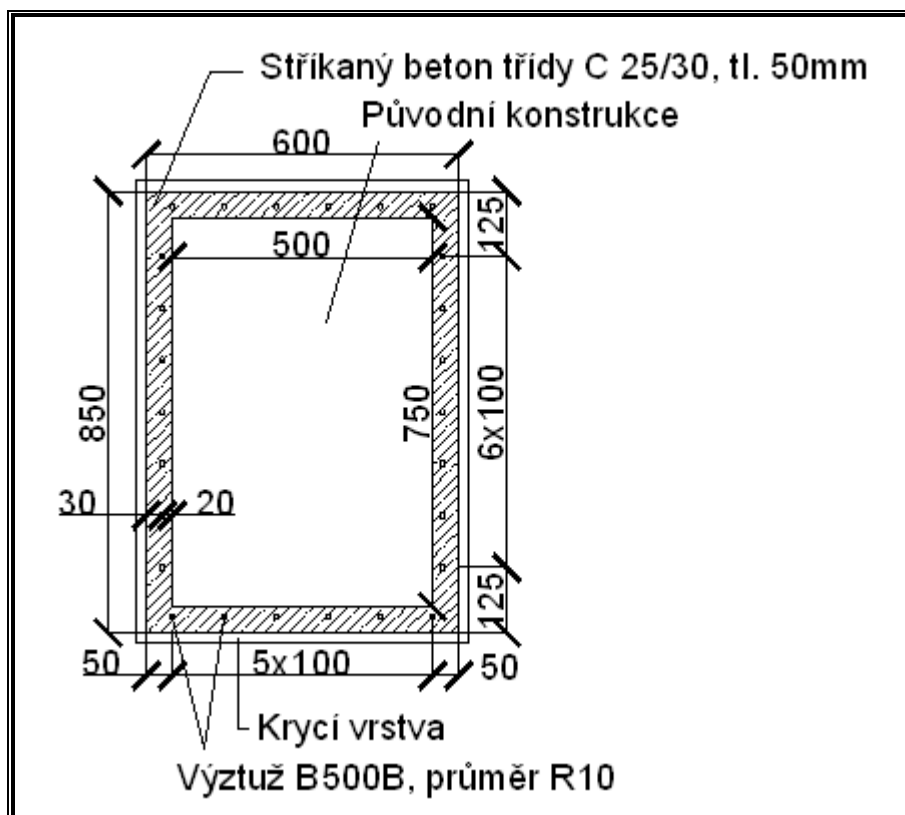
### 3.14.6 Návrh opatření, první varianta

Možnou variantou pro zvýšení únosnosti sledovaných prvků je jejich obetonování. Jedná se v prvním kroku o očištění stávající NK (odstraní se omítka a proškrábnou se spáry). Poté se vytvoří přídavný armokoš ve vzdálenosti 15 mm kolem stávající NK složeného z hlavní výztuže třídy B500B průměru R10 v osové vzdálenosti 100 mm a třmínků třídy B500B, průměru R6 v osové vzdálenosti 100 mm. S ohledem na dodržení statického schématu bude nutné provést ukotvení této výztuže do základové konstrukce například chemickými kotvami a její protažení a navázání do vyšších pater.

Před započítím prací je tedy třeba provést ověření základových konstrukcí zda jsou dostatečné a případně provést jejich rozšíření.

Takto vytvořený armokoš poté překrýt vrstvou betonu třídy pevnosti C25/30 o tloušťce 70 mm (50 mm konstrukční vrstva a 20 mm krycí vrstva). Takto vytvořená železobetonová obálka by měla být pokud možno opřena v patě i v hlavě.

Obr 10: Návrh opatření - obetonování





### 3.14.7 Únosnost obetonování ve směru osy y

Při výpočtu únosnosti přídatného prvku bude postupováno podle interakčního diagramu.

**Bod o:**

$$N_{Rd0} = -A_{c0} \cdot f_{cd} - \sum A_s \cdot \sigma_s$$

$$N_{Rd0} = -(0,135 \cdot 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6 + 26 \cdot 0,79 \cdot 10^{-4} \cdot 434 \cdot 10^6)$$

$$N_{Rd0} = -2692 \text{ kN}$$

$$M_{Rd0} = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1:**

$$N_{Rd1} = -\lambda A_{c1} \eta \cdot f_{cd} - F_{s2}$$

$$N_{Rd1} = -0,8 \cdot 0,117 \cdot 0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6 - 205,7 \cdot 10^3 = -1453,9 \text{ kN}$$

$$M_{Rd1} = \lambda A_{c1} \eta \cdot f_{cd} \cdot z_{c1} + F_{s2} \cdot z_{s2}$$

$$M_{Rd1} = 1248 \cdot 10^3 \cdot 0,06 + 205,7 \cdot 10^3 \cdot 0,395 = 156,15 \text{ kNm}$$

Mezi body 1. a 2. interakčního diagramu budeme lineárně interpolovat pro zjištění únosnosti při kombinaci na maximální normálovou sílu a maximální ohybový moment.

➤ Výsledná únosnost obezdívky ve směru osy Y:'

**Centrální sloup:**

$$M_{Ed,odp} = 41 \text{ kNm} \quad N_{rd,o} = -2366,91 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,max} = 82 \text{ kNm} \quad N_{rd,o} = -2041,8 \text{ kN}$$

**Krajní sloup:**

$$M_{Ed,odp} = 121 \text{ kNm} \quad N_{rd,o} = -1732 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,max} = 133,8 \text{ kNm} \quad N_{rd,o} = -1631 \text{ kN}$$

### 3.14.8 Podmínky únosnosti ve směru osy y

#### Centrální sloup:

$$\begin{aligned} |N_{Ed,max}| &= 2523 \text{ kN} \leq |N_{Rd}| + |N_{Rd,o}| = 1931 + 2366 = 4297 \text{ kN} \\ |N_{Ed,odp}| &= 2316,3 \text{ kN} \leq |N_{rd}| + |N_{Rd,o}| = 1642 + 2041 = 3683 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### Krajní sloup:

$$\begin{aligned} |N_{Ed,max}| &= 1432 \text{ kN} \leq |N_{Rd,o}| = 1732 \text{ kN} \\ |N_{Ed,odp}| &= 1337,25 \text{ kN} \leq |N_{Rd,o}| = 1631 \text{ kN} \end{aligned}$$

=> Ve střední části objektu je součet únosnosti sloupů a obehzdivky vyhovující podmínkám únosnosti. V krajních částech konstrukce je dostačující únosnost samotné obehzdivky.

K podobným závěrům lze dospět při posuzování konstrukce a navrženého opatření ve směru osy x. souhrnně lze tedy říci, že navrhované opatření je dostatečné pro zajištění požadované únosnosti svislých nosných konstrukcí v 1PP předmětné konstrukce.

### 3.14.6 Návrh opatření, druhá varianta

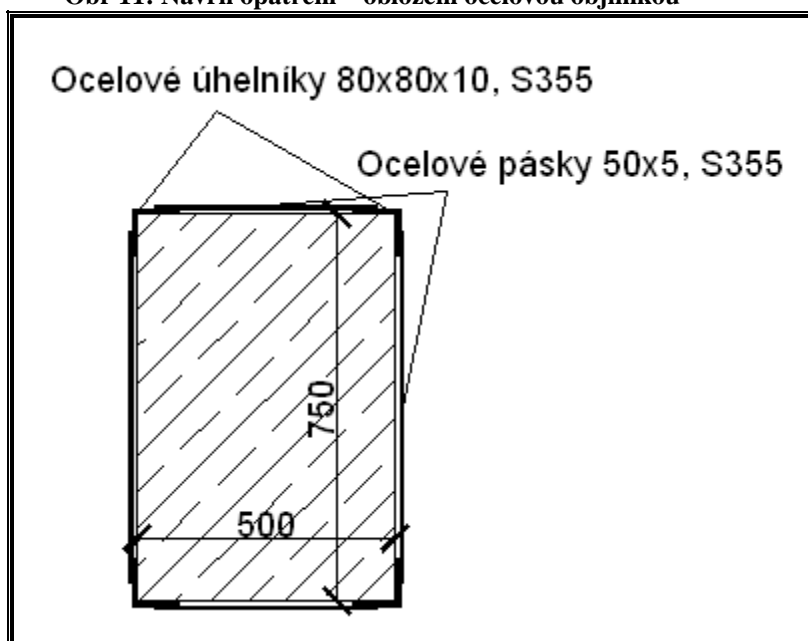
Druhou variantou je zesílení sloupu jeho obložením ocelovou objímkou. U sloupu pečlivě odstraníme omítku, proinjektujeme trhliny a vyrovnáme jeho povrch. Na sloup v rozích do cementové malty uložíme rovnostranné úhelníky, které vzájemně spojíme přivařením ocelových pásků z ploché oceli.

Zlepšení spolupůsobení dosáhneme předepnutím pásků ohřevem. Pásky po celé délce ohřejeme na cca 60–80°C. Kontrolu ohřevu provádíme pomocí termokřídly. Teprve potom přivaříme pásky na rohové úhelníky. Po ochlazení pásků se bandáž smršťováním aktivuje.

V patě a v hlavě sloupu konstrukci upravíme ocelovou objímkou, kterou proti stropu a podlaze rozepřeme ocelovými klíny a podobně jako v předchozím případě ukotvíme. Sloup posléze obložíme pletivem a omítneme nebo otorkretujeme kvalitní cementovou omítkou. [11]

- Rohové úhelníky: 80×80×10 mm, ocel S355
- Pásky: 50×5 mm, ocel S355
- Osová vzdálenost pásků: 400 mm

Obr 11: Návrh opatření – obložení ocelovou objímkou



### 3.14.7 Únosnost ocelové objímky ve směru osy y

Výpočet únosnosti jednoho rohového ocelového úhelníku bude proveden za předpokladu, že betonová část sloupu brání vzpěru zkroucením a úhelník je proti rovinnému vzpěru zajištěn v místech připojení ocelových pásků.

#### Určení třídy průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81; \quad \varepsilon^2 = 0,66$$

$$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon; \quad \frac{80}{10} = 8 \leq 15 \cdot 0,81 = 12,5 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon; \quad \frac{80+80}{20} = 8 \leq 11,5 \cdot 0,81 = 9,315 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$\Rightarrow$  Průřez můžeme zařadit do třídy průřezu 3.

**Výpočet únosnosti jednoho úhelníku**

$$I = 3,671 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{3,671 \cdot 10^{-7}}{1,5 \cdot 10^{-3}}} = 0,0156 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{0,4}{0,0156} \cdot \frac{1}{76,059} = 0,34$$

$$\chi = 0,968$$

$$N_{bRd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,968 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,15} = 448 \text{ kN}$$

**Celková únosnost všech čtyř úhelníků**

$$4 \cdot N_{bRd} = 4 \cdot 448 = 1792 \text{ kN}$$

**Zatížení objímky ve směru osy Y pro krajní sloup**

$$d = 0,702$$

$$P_1 = \frac{M_{odp}}{d} = \frac{121}{0,702} = 172,36 \text{ kN}$$

$$|N_{celk1}| = |N_{max}| + |P_1| = 1432 + 172,36 = 1604,36 \text{ kN}$$

$$P_2 = \frac{M_{max}}{d} = \frac{133,8}{0,702} = 190,6 \text{ kN}$$

$$|N_{celk2}| = |N_{odp}| + |P_2| = 1338 + 190,6 = 1528,6 \text{ kN}$$

### **Podmínka únosnosti pro krajní sloup**

$$|N_{celk1}| = 1604,36 \text{ kN} \leq |N_{bRd}| = 1792 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Pro krajní sloup lze celé zatížení přenést pomocí navržené ocelové objímky.

### **Podmínka únosnosti pro centrální sloup**

$$|N_{Ed,max}| = 2523 \text{ kN} \leq |N_{Rd}| + |N_{bRd}| = 1931 + 1792 = 3723 \text{ kN}$$

⇒ Celková únosnost prvku vznikající spolupůsobením ocelové objímky a centrálního betonového sloupu je dostatečná pro přenos předpokládaných zatížení.

Také druhá varianta navrhovaného opatření je dostatečná pro vyztužení svislých nosných konstrukcí tak, aby vyhovovaly požadavkům stávajících norem a to i po provedení předpokládané nadstavby.

K podobným závěrům bychom došli také při výpočtu únosnosti ve směru osy x.

## **3.15 Ověření**

V rámci podrobného hodnocení bylo provedeno ověření mezního stavu únosnosti svislých nosných konstrukcí v 1PP objektu. Únosnost těchto konstrukcí se ukázala jako nedostatečná a nevyhovující požadavkům stávajících norem.

Z tohoto důvodu byla navržena dvě možná opatření pro zvýšení jejich únosnosti, které se posléze ukázaly jako dostačující.

## **3.16 Analýza údajů**

Údaje získané při dosavadním hodnocení objektu jsou dostačující k ověření svislých nosných konstrukcí v 1PP. Bylo zjištěno, že tyto konstrukce jsou nevyhovující, a proto bylo navrženo opatření pro zvýšení jejich únosnosti.

Dosavadní poznatky nám také umožňují zevrubně odhadnout stav konstrukce v 1NP a vodorovných nosných prvků v 1PP. Tyto konstrukce se zdají v relativně lepším stavu než sloupy v 1PP, ke konečnému závěru bude ovšem možné dospět až po podrobnějším prozkoumání těchto konstrukcí.

### **3.17 Posouzení možných variant opatření**

Vzhledem k dosavadním zjištěním není možné provést plánovanou nadstavbu bez podstatného zásahu do stávající konstrukce.

**A)** Velmi špatná kvalita konstrukce v 1PP přidává na důležitosti variantě, která počítá s kompletní demolicí stávající konstrukce a postavení zcela nové budovy na stejném místě. Výhodou této varianty je možnost vytvoření moderní dispozice budovy, která bude zcela vyhovovat plánovanému účelu. Nevýhodou zůstává technická finanční náročnost tohoto řešení.

**B)** Poznatky získané při podrobné prohlídce a zkouškách materiálů ukazují, že varianta rekonstrukce za účelem vyztužení stávajících prvků tak, aby vyhovovaly požadavkům stávajících norem i po provedení plánované nadstavby. Bude mnohem náročnější a technicky nákladnější než se původně předpokládalo. Přesto bude proveditelná a mírně finančně, technicky a ekologicky příznivější než varianta A). Zachování stávajících konstrukcí bude ovšem omezující při plánování dispozice budovy tak, aby co nejlépe vyhovovala svému účelu.

V případě volby dalšího postupu v duchu této varianty by bylo vhodné provést doplňkové hodnocení konstrukce zaměřené na dosud neprozkoumané části konstrukce, které umožní takzvaně „ušít rekonstrukci na míru“. Pro zvýšení únosnosti svislých nosných konstrukcí v 1PP objektu lze použít například zde navržené opatření.

**C)** Přípustná je také možnost provedení zatěžovacích zkoušek za účelem prokázání dostatečné únosnosti stávající konstrukce. Pokud by se toto podařilo, vedlo by to k rozsáhlým finančním úsporám v projektu. Vzhledem k dosavadním zjištěním je ovšem úspěch této varianty velmi nepravděpodobný.

### **3.18 Závěry a doporučení**

#### **3.18.1 Závěry**

Beton ve všech zkoumaných konstrukcích nedosahuje dostatečné kvality, aby mohl být podle stávajících norem klasifikován jako konstrukční beton. Zvláště špatný stav byl zjištěn u obvodových sloupů v 1PP, jejichž charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku dosahuje hodnoty pouhých 1,53 MPa. Pro srovnání pevnost extrudovaného polystyrenu je až 0,7 MPa a nejhorší pevnostní třídy pórobetonu 2,5 Mpa.

Při provádění zkoušek materiálů byla také zjištěna výrazná nestejnorodost materiálu v konstrukci, která velmi znesnadňuje vyhodnocení získaných informací, následnou analýzu a ověření konstrukce a sama o sobě je znakem špatného provedení konstrukce. Při orientační kontrole karbonatace na odebraných vývrtech pomocí fenolftaleinového testu byl také odhalen výrazný postup degradace betonu zapříčiňující ztrátu schopnosti pasivace výztuže, tedy chemické ochrany výztuže před korozi.

Při ověřování výztuže bylo zjištěno, že její rozložení na zkušebních místech odpovídá dostupné dokumentaci. Lze tedy předpokládat, že ani na jiných místech konstrukce nebude docházet k výraznému odchýlení od zamýšleného tvaru. Při vizuální sondě k výztuži byla zaznamenána mírná koroze.

Dodatečná prohlídka konstrukce vedla také k odhalení dalších lokálních poruch, včetně například mezerovitého betonu. Takovéto poruchy jsou pravděpodobně důsledkem technologické nekázně při výstavbě.

Analýza svislých nosných konstrukcí v 1PP prokázala, nedostatečnou rezervu bezpečnosti centrálních sloupů pro případ realizace maximálních uvažovaných zatížení. Naprosto nedostatečná únosnost krajních sloupů v tomto podlaží prakticky znemožňuje jejich analýzu a naznačuje, že vlivem dosavadních přetvoření od zatížení zřejmě již došlo ke změně statického systému.

V rámci analýzy konstrukce bylo navrženo opatření pro zvýšení únosnosti těchto prvků, které se v současném stavu hodnocení objektu jeví, jako dostatečné.

Celkový závěr podrobného hodnocení je ten, že konstrukce není v uspokojivém stavu pro provedení plánované nadstavby. Stav objektu je dokonce tak špatný, že bude muset být bez ohledu na již zmíněnou nadstavbu uskutečněna jeho rozsáhlá rekonstrukce.

### 3.18.2 Doporučení

Protože pro uskutečnění projektu jsou dostupné dotace vázané na provedení rekonstrukce, budou se následující doporučení vztahovat k této variantě.

- Odstranění všech výplňových konstrukcí a snesení střešní konstrukce.
- Provedení doplňujícího hodnocení konstrukce s cílem získání poznatků pro efektivní návrh opatření. Zejména je nutné ověření základových konstrukcí před započítáním rekonstrukce.
- Provedení opatření zajišťujících dostatečnou únosnost nosných konstrukcí.
- Doplnění výplňových konstrukcí z moderních lehkých materiálů a provedení nadstavby.

### 3.19 Dokumentace průběhu rekonstrukce

Při reálném provádění rekonstrukce byl použit podobný systém opatření, jaké byly prezentovány v předchozí kapitole. Následuje fotodokumentace z průběhu rekonstrukce.



F31: Pohled na objekt v průběhu rekonstrukce.



Zde je patrné, že proběhlo snesení původní konstrukce zastřešení a odstranění většiny výplňových konstrukcí. Svislé nosné konstrukce jsou obestaveny ocelovými úhelníky a pásy, které jsou posléze svařeny k sobě. Vodorovné nosné konstrukce jsou podepřeny válcovanými I profily.



F32: Pohled na místnost CO03 v průběhu rekonstrukce.



F33: Detail sloupu 0/1 v průběhu rekonstrukce



F34: Detail sloupu 0/2 v průběhu rekonstrukce

Z fotografií F29-31 je patrná nefunkčnost výztuže ve sloupech v 1PP a zároveň absence třmínků. Takovéto uspořádání je zcela nevyhovující.



F35: Pohled na poruchu ve 3NP odhalenou při rekonstrukci



F36: Detail poruchy ve 3NP

Ve 3NP objektu byla nalezena další porucha, jedná se o absenci části trámu, který tak nedosahuje až ke sloupu a je nutné ho podpírat. V průběhu životnosti objektu byl zřejmě podepřen ostěním dveří.



F37: Pohled na sloup v průběhu rekonstrukce



F38: Pohled na rekonstruovaný sloup

Vyztužení nosných konstrukcí bylo provedeno pomocí ocelových válcovaných profilů a stříkaného betonu. Tato opatření se v zásadě shodují s navrženou variantou zvýšení únosnosti pomocí ocelové objímky.

## 4 Závěr

Při plánování rozšíření kapacity stávajících konstrukcí pomocí nadstavby je důležité nepodcenit provedení hodnocení těchto konstrukcí. Jak ukazuje příklad hodnocení uvedený v této práci i konstrukce, které na první pohled vykazují minimální počet poruch mohou být po bližším prozkoumání ve velmi špatném stavu.

S normou ČSN ISO 13 822 se nám do rukou dostává poměrně silný nástroj pro hodnocení stávajících konstrukcí. Zejména co se týče obecné organizace hodnocení a moderního systému statistického vyhodnocování. Při konkrétním provádění hodnocení je ovšem sama o sobě nedostačující a je nutné jí doplnit poznatky z jiných zdrojů.

Při statistickém vyhodnocování souborů dat, získaných při podrobné prohlídce a zkouškách materiálů, je velmi nevýhodné uvažovat statistické soubory obsahující méně než 6 prvků. Pokud jsme přesto nuceni k vyhodnocení souborů s malým počtem prvků je vhodné použít metodu dílčích součinitelů a předpokládat lognormální rozdělení souboru.

V metodice statistického vyhodnocení podle ISO 13 822 schází možnost úpravy dílčího součinitele bezpečnosti pro jinou dobu životnosti než 50let (nebo 100let). Vyhodnocení nestejnorodého betonu je do určité míry možné, prudce přitom ovšem roste nepřesnost vyhodnocení.

Před provedením plánované nadstavby zájmového objektu je nutná rozsáhlá rekonstrukce a zvýšení únosnosti stávajících nosných konstrukcí.

## 5 Seznamy

### 5.1 Seznam použitých zdrojů

[1] ADÁMEK J., HOBST L., CIKRLE P., SCHMIDT P., *Diagnostika stavebních konstrukcí*, Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005

[2] ČSN EN 12390-1, *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*

[3] ČSN 73 1317, *Stanovení pevnosti betonu v tlaku*

[4] ČSN 73 2011, *Nedeštruktivné skúšanie betónových konštrukcií*, Vydavateľství ÚNM, 1987, 36 str., 624.012.4:620.179.1

[5] ČSN ISO 13 822, *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*, Opravená verze, Český normalizační institut, 2005, 69 str. ICS: 91.080.01

[6] HOLICKÝ, Milan, et al. *Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí* [online]. Praha : Nakladatelství ČVUT v Praze, 2005 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukce.cvut.cz/download>>. ISBN 978-80-01-03790-4.

[7] SMRČKA, Vladimír. *Hodnocení betonové konstrukce podle ČSN ISO 13 822*. Brno, 2010. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické, FAST.

[8] ISO 2394. *General principles on reliability for structures*. Genève (Switzerland) : International Organization for Standardization, 1998. 73 s.

[9] HOLICKÝ, Milan; MARKOVÁ, Jana. *Ověřování existujících konstrukcí podle ISO 13 822* [online]. [s.l.] : Kloknerův ústav ČVUT, 2006 [cit. 2011-12-13]. Dostupné z WWW:<<http://www.konstrukce.cvut.cz/dalsi-odborne-publikace>>.

[10] CIKRLE, Petr, Dalibor KOCÁB a Ondřej POSPÍCHAL. Možnosti využití ultrazvukové metody pro stanovení pevnosti v tlaku mostního betonu. In: *Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví: Sborník recenzovaných příspěvků 2011*. Ing. Věra Heřmánková, Ph.D., Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011

[11] BAŽANT, Zdeněk a Ladislav KLUSÁČEK. *Statika při rekonstrukcích objektů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002, 88 s. ISBN 80-214-2058-8.

**5.2 Seznam použitých zkratk a symbolů**

$A_c$	plocha tlačného betonu
$A_s$	plocha výztuže
$b$	šířka průřezu sloupu
$D$	průměr jádrového vývrtu
$d$	vzdálenost působíšť sil pro ocelovou objímku
$e$	eulerovo číslo
$e_0$	základní excentricita
$e_1$	excentricita vlivem imperfekcí prvního stupně
$e_d$	celková excentricita
$\Phi(-\beta_R)$	hodnota odpovídající kvantitu studentova rozdělení
$F_s$	síla ve výztuži
$f_y$	mez kluzu
$\gamma_c$	objemová tíha betonu
$g_i$	jenotlivé naměřené objemové tíhy
$G_k$	charakteristická objemová tíha betonu
$h$	výška průřezu sloupu
$h_v$	výška jádrového vývrtu
$I$	kvadratický moment setrvačnosti průřezu
$i$	poloměr setrvačnosti průřezu
ISO	ČSN ISO 13 822
$k_n$	součinitel pro stanovení pětiprocentního kvantilu
$k_n$	součinitel závislý na počtu odebraných vzorků
$l_0$	vzpěrná délka
$L_s$	minimální obvyklá doba z hlediska bezpečnosti (např. 50 let)
$l_w$	základní délka sloupu
$m_g$	průměrná objemová tíha
$M_k$	charakteristická hodnota ohybového momentu
$m_r$	přirozená hmotnost
$m_x$	aritmetický průměr statistického souboru vzorků
$n$	počet vzorků
$N_k$	charakteristická hodnota normálové síly
P1,P2	Přídavné síly v ocelovém prvku od ohybového momentu
$q_k$	hodnota užitého zatížení na ploše
$s_g = \sqrt{s_g^2}$	směrodatná odchylka (výběrová)
$s_g^2$	výběrový rozptyl
$s_k$	hodnota plošného zatížení sněhem
$t$	tloušťka ocelového prvku
$t_{vd}$	koeficient studentova rozdělení
$v$	počet stupňů volnosti
$V$	aktualizovaný variační koeficient
$v_{b0}$	základní rychlost větru
$V_x, V_r$	variační koeficient
$X_d$	aktualizovaná návrhová hodnota veličiny X



## Seznamy

$X_i$	hodnoty jednotlivých výsledků zkoušek
$X_k$	aktualizovaná charakteristická hodnota veličiny $X$
$\alpha$	součinitel citlivosti
$\beta$	směrný index spolehlivosti
$\beta_l$	součinitel vzpěrné délky
$\gamma_i$	dílčí součinitel bezpečnosti
$\Delta$	rozdíl dvou sousedních hodnot pro stanovení stejnorodosti
$\varepsilon$	součinitel závisející na $f_y$
$\lambda^-$	poměrná štíhlost
$\lambda_l$	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\mu$	střední hodnota
$\sigma^2 = \ln(1+V^2)$	koeficient pro určení návrhové hodnoty pro lognormální rozdělení
$\chi$	součinitel vzpěrnosti
$\sigma$	napětí ve výztuži
$\eta$	redukční součinitel pevnosti betonu
$\lambda$	redukční součinitel plochy betonu
$\Phi$	redukční součinitel vlivem vzpěru

### 5.3 Seznam tabulek, grafů, ilustrací a fotografií

#### 5.3.1 Seznam tabulek

Tabulka 1. Verbální hodnocení konstrukce, zdroj: [1] .....	15
Tabulka 2. Hodnoty součinitele $k_n$ pro zatížení, zdroj: [5] .....	18
Tabulka 3. Hodnoty součinitele $k_n$ pro vlastnosti konstrukce, zdroj: [5] .....	22
Tabulka 4. Počet zkušebních míst podle velikosti konstrukce, zdroj: [4] .....	23
Tabulka 5. Kvalita betonu a rychlost šíření ultrazvuku, zdroj: [10] .....	24
Tabulka 6. Kritéria stejnorodosti, zdroj: [1] .....	25
Tabulka 7. Koeficienty studentova rozdělení, zdroj: [8] .....	32
Tabulka 8. Hodnoty součinitele citlivosti $\alpha$ , zdroj: [5] .....	33
Tabulka 9. Hodnoty směrného indexu spolehlivosti $\beta$ zdroj: [5] .....	34
Tabulka 10. Objemová hmotnost .....	62
Tabulka 11. Rychlost průchodu ultrazvuku .....	63
Tabulka 12. Pevnost betonu v tlaku .....	64
Tabulka 13. Vnitřní síly na centrálním sloupu .....	72
Tabulka 14. Vnitřní síly na krajním sloupu .....	72

#### 5.3.2 Seznam grafů

Graf 1; Přepočet indexu $\beta$ pro jiný interval zatížení, zdroj: [5] .....	34
Graf 2; Dílčí součinitel bezpečnosti podle variačního koeficientu a součinitele $\beta$ zdroj: [5] .....	35
Graf 3; Průběh charakteristických hodnot souboru pro různé střední hodnoty v závislosti na počtu prvků. ....	37
Graf 4; Průběh dílčího součinitele bezpečnosti pro různé střední hodnoty ....	38
v závislosti na počtu vzorků .....	38
Graf 5; Srovnání normálního a lognormálního rozdělení .....	39
pro různý počet vzorků .....	39

**5.3.3 Seznam ilustrací a fotografií**

F1: Pohled na vstupní část budovy, zdroj: [7] .....	43
Obr 1: Půdorys prvního podzemního patra s vyznačenými poruchami a fotografiemi .....	47
F2: Pohled na trhliny ve styku posledního schodišťového stupně a podesty v 1PP. ...	48
F3: Detail trhliny ve styku posledního schodišťového stupně a podesty v 1PP. Šířka 5mm .....	48
F4: Dispozice místnosti v 1PP .....	49
F5: Trhlina v příčniku stropní konstrukce 1PP. Šířka 1-2 mm. ....	49
F6: Detail poruchy P3 .....	49
Obr 2: Půdorys 1NP s vyznačenými poruchami a fotografiemi .....	50
F7: Trhlina ve schodišťové zídce. Šířka 2-4mm.....	50
F8: Detail trhliny ve schodišťové zídce. Šířka 2-4mm .....	50
F9: Uspořádání schodišťové části 1NP .....	51
F10: Detail trhliny v ukončení schodišťového ramena a podestě 1NP-2NP, šířka 2mm .....	51
Obr 3: Půdorys 2NP s vyznačenými poruchami a fotografiemi .....	51
F11: 1-2mm široká trhlina ve sloupu 2NP .....	52
F12: Detail trhliny ve sloupu 2NP. Šířka 2mm .....	52
Obr 4: Půdorys 3NP s vyznačenými poruchami a fotografiemi .....	52
F13: Průsak vody na terase 3NP. ....	53
Obr 5: Půdorys 1PP s vyznačenými místy odběru jádrových vývrtů .....	57
F14: Vzorek 0/1 ze sloupu v 1. PP.....	58
F15: Vzorek 0/2 ze sloupu v 1. PP.....	58
F16: Vzorek 0/3 ze sloupu v 1. PP.....	58
F17: Vzorek 0/4 ze sloupu v 1. PP.....	59
F18: Vzorek 0/5 ze sloupu v 1. PP.....	59
F19: Vzorek 0/Z1 ze zdi v 1. PP .....	59
F20: Vzorek 0/Z2 ze zdi v 1. PP .....	60
F21: Vzorek 0/S1 ze sloupu v 1. PP .....	60
F22: Vzorek 0/P1 z průvlaku v 1. PP.....	60
F23: Vzorek 0/T1 z trámu v 1. PP .....	61
F24: Vzorek 0/T2 z trámu v 1. PP .....	61
Obr 6: Půdorys 1PP s rozlišením prvků podle pevnosti .....	66
Obr 7: Půdorys 2NP s vyznačením místa pro ověření výztuže.....	67
F25: Ověření polohy výztuže na zkušebním místě 2/S1 elektromagnetickým indikátorem. ....	68
F26: Hlavní výztuž v krajích sloupu: Hladká, průměr 16mm, mírně zkorodovaná ....	68
F27: Sonda k výztuži v ose sloupu: Hlavní výztuž opět hladká, průměr 16mm. Třmínky jsou tvořeny hladkou výztuží průměr 6mm. Obě výztuže jsou mírně zkorodované. ....	68
F28: Pracovní spára v betonovém sloupu .....	69
F29: Pracovní spára v betonovém sloupu .....	69
F30: Porucha P6 sloupu v 2NP .....	70
Obr 8: Statický model konstrukce.....	71
Obr 9: Rozměry sloupu [mm] .....	74
Obr 10: Návrh opatření - obetonování .....	76
Obr 11: Návrh opatření – obložení ocelovou objímkou .....	79
F31: Pohled na objekt v průběhu rekonstrukce.....	84
F32: Pohled na místnost CO03 v průběhu rekonstrukce. ....	85



## Seznamy

F33: Detail sloupu 0/1 v průběhu rekonstrukce .....	85
F34: Detail sloupu 0/2 v průběhu rekonstrukce .....	85
F35: Pohled na poruchu ve 3NP odhalenou při rekonstrukci .....	86
F36: Detail poruchy ve 3NP .....	86
F37: Pohled na sloup v průběhu rekonstrukce .....	87
F38: Pohled na rekonstruovaný sloup.....	87